

*** NOTICES ***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2. **** shows the word which can not be translated.

3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

(57) [Claim(s)]

[Claim 1] a. A partition means to classify the space where a mobile robot moves into radii and at least two linear field fields to which an attribute changes with either at least, And it consists of a sensor component of n ($n > 1$) individual arranged succeeding the shape of an array which outputs a different signal according to a difference of the b. aforementioned attribute. While setting it as the value the same as that of the width of face of said sensor array to which is equipped with the sensor array arranged near said mobile robot's touch-down part, and the width of face of said partition means is specified by said n sensor components, or almost same Location detection equipment of the mobile robot characterized by detecting the relative position of said mobile robot and said partition means based on a difference of the output signal of m ($m < n$) individual

with which it continues of the n sensor components which constitute said sensor array, and the output signal of the remaining $n-m$ individuals.

[Claim 2] a. A partition means to classify the space where a mobile robot moves into radii and at least two linear field fields to which an attribute changes with either at least, And it consists of two or more sensor components arranged succeeding the shape of an array which outputs a different signal according to a difference of the b. aforementioned attribute. While setting it as the value the same as that of the width of face of said sensor array to which is equipped with the sensor array of two trains arranged to the ends near said mobile robot's touch-down part, and the width of face of said partition means is specified by said two or more sensor components, or almost same The output signal group of two or more sensor components which constitute the sensor array arranged by one side of said two trains, Location detection equipment of the mobile robot characterized by the thing of whenever [relative-position / of said mobile robot and said partition means /, and angular relation] for which either is detected at least based on the difference of the output-signal group of two or more sensor components which constitute the sensor array arranged on another side.

[Claim 3] a. A partition means to classify the space where a mobile robot moves into at least two field fields to which an attribute changes with radii, And it consists of two or more sensor components arranged succeeding the shape of

an array which outputs a different signal according to a difference of the b. aforementioned attribute. While setting it as the value the same as that of the width of face of said sensor array to which is equipped with the sensor array of two trains arranged to the ends near said mobile robot's touch-down part, and the width of face of said partition means is specified by said two or more sensor components, or almost same The output signal group of two or more sensor components which constitute the sensor array arranged by one side of said two trains, Location detection equipment of the mobile robot characterized by the thing of whenever [relative-position / with the central point of the radii which constitute said mobile robot and said partition means based on the difference of the output-signal group of two or more sensor components which constitute the sensor array arranged on another side / , and angular relation] for which either is detected at least.

[Claim 4] Location detection equipment of the mobile robot given in claim 3 term characterized by for said mobile robot being a working robot and locating the central point of said radii on the vertical line for an activity.

[Claim 5] Location detection equipment of a mobile robot given in either of claim 1 term to the 4th term characterized by arranging said sensor array in parallel with a robot's travelling direction.

[Claim 6] a. A leg formula mobile robot's location in migration space, and a

detection means of an include angle to detect either at least, And it asks for the deflection of a location, and the include angle and target position by which the b. aforementioned detection was carried out. A correction means of the desired value concerning a gait or a gait according to it to correct either at least, It consists of two or more noncontact type sensor components which are the control units of the leg formula mobile robot which has **, and have been arranged as said detection means succeeding the shape of an array. While having the sensor array of at least 2 trains arranged to the ends of said mobile robot's foot The output signal group of two or more sensor components which constitute the sensor array arranged by one side of said two trains, The control unit of the leg formula mobile robot characterized by the thing of said mobile robot's location, and an include angle for which either is detected at least based on the difference of the output-signal group of two or more sensor components which constitute the sensor array arranged on another side.

[Claim 7] a. A leg formula mobile robot's location in migration space, and a detection means of an include angle to detect either at least, And it asks for the deflection of a location, and the include angle and target position by which the b. aforementioned detection was carried out. A correction means of the desired value concerning a gait or a gait so that said deflection may not accumulate to correct either at least, It consists of two or more noncontact type sensor

components which are the control units of the leg formula mobile robot which has **, and have been arranged as said detection means succeeding the shape of an array. While having the sensor array of at least 2 trains arranged to the ends of said mobile robot's foot The output signal group of two or more sensor components which constitute the sensor array arranged by one side of said two trains, The control unit of the leg formula mobile robot characterized by the thing of said mobile robot's location, and an include angle for which either is detected at least based on the difference of the output-signal group of two or more sensor components which constitute the sensor array arranged on another side.

[Claim 8] The control unit of claim 6 term characterized by being what outputs the signal from which said sensor component differs according to a difference of said attribute while forming a partition means to classify it into at least two field fields to which attributes differ in said migration space, or a leg formula mobile robot given in 7 terms.

[Claim 9] The control unit of a leg formula mobile robot given in either of claim 6 term to the 8th term characterized by setting the width of face of said partition means as the value the same as that of the width of face of said sensor array to which it is specified by said two or more sensor components, or almost same.

[Claim 10] The control unit of a leg formula mobile robot given in either of claim 6 term to the 9th term characterized by the thing of the foot order ends to which the

right-and-left ends and the travelling direction of the foot which is parallel to said robot's travelling direction, and the sensor array of said at least 2 trains cross at right angles arranged at least at either.

[Claim 11] The control unit of a leg formula mobile robot given in either of claim 6 term to the 10th term to which said noncontact type sensor component is characterized by being an optical sensor component.

[Claim 12] The control unit of a leg formula mobile robot given in either of claim 8 term to the 11th term which the space where said leg formula mobile robot moves is a stairway, and is characterized by establishing the attribute which represents said edge in near the left right end section of a stairway side for said partition means.

[Claim 13] 1st means to determine or correct the desired value about the walk course of said robot's arbitration in a. spiral staircase in a leg formula mobile robot's control device, It has 2nd means to detect whenever [relative-position / of the b. aforementioned robot and a spiral staircase /, and angular relation].

And said 2nd means While having the sensor array of at least 2 trains which consisted of two or more noncontact type sensor components arranged succeeding the shape of an array, and were arranged to the ends of said mobile robot's foot The output signal group of two or more sensor components which constitute the sensor array arranged by one side of said two trains, Either is

detected at least. the difference of the output-signal group of two or more sensor components which constitute the sensor array arranged on another side -- being based -- whenever [relative-position / of said mobile robot and said spiral staircase /, and angular relation] -- Said 1st means is the control unit of the leg formula mobile robot characterized by being what is based on whenever [said relative-position / which said 2nd means detected corresponding to said desired value to the n-th time of arbitration /, and angular relation], and determines or corrects said n+1st following desired value.

[Claim 14] The control unit of a leg formula mobile robot given in either of claim 8 term to the 12th term characterized by carrying out actuation control of said leg formula mobile robot's leg in near said partition means at least so that the step may serve as the die length of 2 double less or equal substantially [the travelling direction die length of said partition means].

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the thing which enabled it to

more specifically detect simply the relative location thru/or the bearing in workspace of a mobile about a mobile robot's location detection and control unit. Moreover, it is related with what is controlled to be able to move to landing locations, such as a stairway, also in the environment where constraint is received, about a leg formula mobile robot at stability and a high speed among mobile robots.

[0002]

[Description of the Prior Art] Although the thing of various gestalten, such as a wheel type, a crawler type, and a leg formula, is proposed as a mobile robot until now, when such a mobile robot is workspace and performs a certain task, the object for an activity being on workspace and working toward the object is called for. However, since uncertain elements, such as slipping between the measurement errors, migration devices, and road surfaces of a self-location, intervene during migration, after a mobile robot moves, he is not certain in whether the object for an activity is faced correctly. For such a reason, a mobile robot needs to recognize correctly which direction after migration termination, self is in which location to the object for an activity, and has turned to.

[0003] Of course, although it will be satisfactory if it can continue measuring the self physical relationship for [which is approaching during migration] an activity in the real time, such technique needs huge information processing and, at least

at present, is not realistic. Laying an artificial auxiliary means (for example, tape) in accordance with moving trucking to migration space in order to decrease the amount of information processing is proposed by JP,59-32009,A, JP,59-121506,A, JP,55-97609,A, etc. Moreover, it is also well-known to lay an electromagnetic wire etc. underground.

[0004] However, when based on these technique, while preparing a facility required for a workspace side and being complicated, great cost is needed for laying an electromagnetic wire etc. underground. Furthermore, when workspace is nuclear installation, modification of a large-scale environment cannot be performed as a matter of fact in many cases.

[0005] Moreover, in order to recognize self location and bearing to the object for an activity, carrying out between the images beforehand remembered to be the picturized images using the pattern-matching technique etc. using vision information, such as a camera, is also known. By this technique, in order to usually reduce the amount of information which should be processed, windowing of some images is carried out and the search time is shortened. since it usually comes out to look for an inspection object further after the device of others equipped with the description usually still clearer than a pressure gage etc. which uses for self-location identification the image which picturized the device which is an object for inspection, for example, a pressure gage etc., or a building

construction are used for self-location identification and being able to identify a self-location and there is although working hours can shorten better if it becomes when a mobile robot's activity is inspection of a device, whenever [working-speed] is late Although whenever [working speed] can be raised by increasing the engine performance of the computer to carry, it is desirable to use the computer of the low engine performance in respect of cost, and when it is the robot of an autonomous mold, the engine performance of a computer is naturally restrained from weight, consumption energy, etc.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] It is in this invention proposing the location detection equipment of the mobile robot which it was made in view of such a situation, is only giving few land markers to workspace, and can detect comparatively whether the working robot accompanied by migration arrived at the activity location correctly with a sufficient precision in the real time using the computer of the low engine performance.

[0007] Furthermore, in a mobile robot, when what has a discrete landing location moves the environment where constraint is received to a landing location like a leg formula mobile robot (for example, when going up and down a stairway etc.), it is necessary to control a landing location careful. That is, if a crawler bearing area utilizable in order that the relative position of a robot and a stairway may

maintain back past ** and stability becomes small, a position becomes unstable and a relative position passes a front conversely in case a leg formula mobile robot goes up a stairway, as shown in drawing 33 , when moving to the next stage, **** will interfere and the stability of a position will be broken down similarly. Thus, when landing locations, such as a stairway, move the environment where constraint is received, it is necessary to control the relative position of a robot and a stairway.

[0008] Then, the applicant for this patent has proposed the control unit of the leg formula mobile robot which enabled it to move previously the environment where a leg formula mobile robot receives constraint in migration, such as a stairway, to a high speed with the stable position in Japanese Patent Application No. No. 241,351 [four to]. However, since the sole was equipped with the contact type sensor as a location detection means in the proposal, endurance was not necessarily enough.

[0009] The 2nd object of this invention is in amelioration of that invention proposed previously. Therefore, more specifically While it is comparatively detectable using the computer of the low engine performance whether the working robot accompanied by migration only at attaching few land markers in workspace reached correctly in the activity location with a sufficient precision in the real time It is in offering the control unit of the leg formula mobile robot raises

endurance using a noncontact type sensor and it was made to raise self-location identification precision further.

[0010]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, this invention was constituted as shown for example, in claim 1 term. If it is in claim 1 term when the expression of the example mentioned later is written in addition and explained A partition means to classify the space where a mobile robot 1,100 moves into radii and at least two linear field fields to which an attribute changes with either at least (land marker 80), And it consists of a sensor component of n ($n > 1$) individual arranged succeeding the shape of an array which outputs a different signal according to a difference of said attribute. It has the sensor array 382 arranged near said mobile robot's 1,100 touch-down part. While setting the width of face of said partition means (land marker 80) as the value the same as that of the width of face of said sensor array 382 to which it is specified by said n sensor components, or almost same The output signal of m ($m < n$) individual with which it continues of the n sensor components which constitute said sensor array 382 (for example, ON signal), It constituted so that the relative position of said mobile robot 1,100 and said partition means (land marker 80) might be detected based on a difference of the output signal (for example, off signal) of the remaining $n-m$ individuals. [0011]

[Function] The relative position thru/or include angle to a partition means can be detected easily, and, therefore, a mobile robot's (working robot) location in migration space can be detected easily. Moreover, since it is simple as a configuration, it is comparatively realizable with the computer of a low.

[0012]

[Example] Hereafter, taking the case of the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes walk, and a wheel-type mobile robot, the example of this invention is explained as a mobile robot.

[0013] Drawing 1 is explanation skeleton drawing, showing a leg formula mobile robot's robot 1 on the whole, and equips the leg link 2 of each right and left with six joints (the electric motor which drives it shows each joint for the facilities of an understanding). To the order from a top, the joints of these six individuals are the joints 10R and 10L (right-hand side is set to R and left-hand side is set to L.) for leg winding of the waist. Below The same joints 12R and 12L of the pitch direction (it rotates to the circumference of a x axis) of the waist, The joints 14R and 14L of this roll direction (it rotates to the circumference of the y-axis), the joints 16R and 16L of the roll direction of a knee region, While being the joints 18R and 18L of the roll direction of a guide-peg neck, and the joints 20R and 20L of this pitch direction and attaching **** (foot) 22R and 22L in the lower part, a case (base) 24 is formed in the most significant, and a control unit 26 is stored in

the interior.

[0014] In the above, a waist joint consists of joint 10R (L), 12R (L), and 14R (L), and an ankle joint consists of joint 18R (L) and 20R (L). Moreover, it is the thigh links 32R and 32L between a waist joint and a knee joint, and is connected by the leg links 34R and 34L between a knee joint and an ankle joint. Here, the leg link 2 can give six degrees of freedom about a guide peg on either side, respectively, and it can give the movement toward a request to the whole guide peg, and it consists of driving these $6 \times 2 = 12$ piece joints (shaft) at a respectively proper include angle during a walk so that three-dimension space can be walked to arbitration. Although it has the reducer which the above-mentioned joint which stated previously consists of an electric motor like, and doubles the power that output further, since that detail is given to the application (Japanese Patent Application No. No. (JP,3-184782,A) 324218 [one to]) which these people proposed previously and it is not just going to consider in itself as the summary of this invention, the explanation beyond this is omitted.

[0015] In the robot 1 which shows drawing 1 , well-known 6 axial-tension sensor 36 is formed in a guide-peg neck, the force components F_x , F_y , and F_z of x , y , and the direction of z transmitted to a robot through **** and the moment components M_x , M_y , and M_z of the circumference of the direction are measured, and the existence of landing of a foot, the magnitude of the force of joining a

support saddle, and a direction are detected. Moreover, it replaces with the distribution load sensor of the contact process used for the rear face of ****22R (L) with the technique proposed previously as a location detection means, and is equipped with the reflective type photosensor 38 of a non-contact mold (it is a graphic display abbreviation at drawing 1).

[0016] Furthermore, the dip sensor 40 is installed in a case 24, and the inclination to the z-axis within a x-z flat surface, the angular velocity and an inclination [similarly as opposed to the z-axis within a y-z flat surface], and its angular velocity are detected to it. Moreover, the rotary encoder which detects the rotation is prepared in the electric motor of each joint. Furthermore, although omitted in drawing 1 , the zero switch 42 for amending the output of the dip sensor 40 is formed in a robot's 1 proper location. These outputs are sent to the control unit 26 in the above mentioned case 24.

[0017] Drawing 2 is the block diagram showing the detail of a control unit 26, and consists of microcomputers. In there, the output of the dip sensor 40 etc. is changed into digital value with A/D converter 50, and the output is sent to RAM54 through a bus 52. Moreover, while the output of the encoder which adjoins each electric motor and is arranged is inputted in RAM54 through a counter 56, the output of a zero switch etc. is similarly stored in RAM54 through a waveform shaping circuit 58. In the control unit, the 1st and 2nd arithmetic unit

60 and 62 which consists of a CPU is formed, and like the after-mentioned, the 1st arithmetic unit 60 computes a target joint include angle by reading the gait parameter stored in ROM64, and sends it out to RAM54. Moreover, like the after-mentioned, the 2nd arithmetic unit 62 reads the desired value and the detected actual measurement from RAM54, and outputs it to the electric motor which computes a control value required for actuation of each joint, and drives each joint through D/A converter 66 and a servo amplifier. Moreover, the environmental map information about workspace is stored in ROM64.

[0018] Here, if the photosensor 38 previously described with reference to drawing 3 and drawing 4 is explained, while constituting a photosensor 38 from a detecting element 382 and a body 384 of a sensor, five detecting elements 382 are arranged in the shape of [each] an array in one train at the both sides of ****22R (L), respectively, and the amount of reflected lights of the light emitted by the floor line from the light-emitting part is detected. And a detecting element 382 is connected with the body 384 of a sensor with a fiber optic cable 386, and a lightwave signal (reflected light) is made to transmit through it. The body 384 of a sensor changes a lightwave signal into an electrical signal (digital). Management of wiring is difficult for even the control unit 26 which contained many fiber optic cables and the cables for electrical signals to the case 24 via many [for moving part] leg link 2 wiring, since the photosensor 38 is used by ten

one leg, and wiring weight also increases. Then, we decided to equip the location only near a detecting element as much as possible with the body 384 of a photosensor, and the interior of leg link 34R (L) was more specifically equipped.

[0019] Furthermore, inside [on either side] leg link 34R (L), one D/A converter 39 is arranged near the body group of a sensor, respectively, the sensor output of a total of ten pieces is changed into every five-piece one analog signal, it sends out to A/D converter 50 in a control unit 26 through a multi-conductor cable 72, and an analog signal is changed into the digital signal in which numerical processing is possible there. The 1st arithmetic unit 60 reads required data from A/D converter 50 through a bus 52, performs suitable processing, doubles the outside of ****22R (L), each five insides, and the leg on either side, and detects the output state (ON/OFF) of a total of 20 photosensors 380. This output state sets the time of the reflected light being in a photosensor to ON.

[0020] Here, spacing of the center to center of the sensor detecting element 382 of each five trains is set to 5mm. In addition, width of face of ****22R (L) is set to 200mm as shown in drawing 5 . Since considering the range detectable by five sensor arrays of one side a relative position does not understand all sensors in the state of ON or OFF, in detecting edges, such as a stairway, as shown in drawing 5 for example, as shown in this drawing, ON or since it is undetectable

in it being off, all outputs serve as the range of 15mm corresponding to 1-4 pieces in the number of ON. If the detection range sets to 15mm, relative-position errors, such as landing control, must be made into less than [it], but as a practical question, by 15mm, since the detection range is too small, it expands the detection range using a land marker. That is, since the width of face of a sensor array will be substantially set to about 20mm if the land marker's 80 width of face is set into a value almost equal to the width of face of a sensor array and detecting-element spacing is set to 5mm like the above-mentioned as shown in drawing 6 , the land marker's 80 width of face is also set to 20mm equivalent to it (it exaggerates for the facilities of an understanding and a drawing shows). In the case of amplification and an example, by this, the width of face of the detection range can be expanded **20mm (40mm) and more than twice most effectively.

[0021] If this land marker 80 is explained further, the land marker 80 consists of field fields of the predetermined width of face which consists of a straight line which drew light, such as black paint, on the location suitably in workspace 82 in the coatings of the floor line of the front for [84] inspection (it is the flange of piping in the case of an example) absorbed well, as shown in drawing 7 . Thus, the land marker 80 is formed and the floor line of workspace 82 is classified into two field fields to which attributes differ in lightness. When it is on the land

marker 80, and while carrying out bed leaving of the photosensor output, it becomes off.

[0022] Here, as a robot 1 shows drawing 3 (and drawing 1), the inspection system 90 is formed in the upper part of a case 24. The inspection system 90 consists of a table 92 (universal head) which can rotate freely horizontally (x-y flat surface), and a camera 96 attached in the vertical direction (x-z flat surface) free [rotation] at the post 94 which protrudes from the top face. A table 92 and a camera 96 are driven through a proper means (not shown). That is, a robot 1 walks to the neighborhood for inspection, he moves a table 92 and a camera 96 so that the object for inspection can be picturized, and he checks the existence of abnormalities through image recognition processing. In addition, that explanation is omitted while omitting a graphic display by drawing 2 about actuation control of a table etc. and inspection by the image processing, since the object of this invention is in detection or walk control of a location.

[0023] In the above-mentioned configuration, a robot 1 can walk toward the object 84 for inspection, and the relative current position to the land marker 80 in this workspace can be identified because ****22R (L) lands on the land marker 80. Furthermore, since the photosensor 38 is formed in ****22R (L) on either side the couple every, the include angle of ****22R (L) to the land marker 80, i.e., the include angle of the leg link 2, can be detected by measuring the sensor

output which is a pair, and the relative bearing to the land marker 80 can be detected. Based on the vision information which follows and is acquired through environmental map information and a camera 96, the object for inspection is approached certainly, the camera 96 on a table 92 is driven, and inspection can be performed.

[0024] Here, a relative-position gap [before and after] (deflection) is taken as the average of a gap of the outside of ****22R (L) and the inside. As shown in drawing 8 , an include-angle gap of ****22R (L) does the division of the difference of the gap detected by the sensor detecting element of the outside of ****, and the inside sensor detecting element by the width of face of ****, and computes it in quest of an arc tangent. Although the sensor has been arranged in two trains in this example in order to obtain an include-angle gap, this has been arranged to the ends of ****, spacing was enlarged as much as possible, and the resolution of include-angle gap detection was raised.

[0025] Since this example was detected as mentioned above, the relative location and the bearing to the land marker in workspace can be recognized easily, and environmental map information can be used, and the object for inspection can be reached easily. And it has been the thing of a low enough comparatively as a microcomputer which is simple as a configuration and constitutes a control unit 26.

[0026] Drawing 9 shows the 2nd example of this invention, and shows the case where two or more land markers 80 are formed. In this case, the relative bearing and the relative location to the object 84 for inspection are detectable based on environmental map information from either of the land markers 80 who detected.

[0027] If a biped is arranged and it does not land, but a few is shifted and it lands when landing in the land marker 80 neighborhood, since both **** are equipped with the sensor array in the example although the include angle of ****22R (L) to the land marker 80 is detectable also by one **** in the 1st and 2nd above-mentioned example, the probability to land on the land marker 80 will become high.

[0028] That is, in the 1st and 2nd example of the above, when a robot arrives at the land marker 80 neighborhood, actuation control of the leg shall be carried out so that quiescence or the step in front of that may serve as twice thru/or a value not more than it substantially [the land marker's 80 travelling direction die length]. Consequently, it enables it to certainly locate a photosensor array on the land marker 80, to be mistaken, and to detect that there is nothing.

[0029] Therefore, it can move from a distant place to the last inspection location by dead REKONINGU by inner sensors (step [of a gait parameter] x information searched for by the number of steps), and the application distance of dead REKONINGU can be expanded. Since the frequency using external sensors,

such as a camera 96, is decreased, buildup of the processing time resulting from the complexity of information processing common to an external sensor can be prevented, passing speed increases further, and it becomes more practical to extend the distance of dead REKONINGU.

[0030] Drawing 10 is the explanatory view showing the 3rd example of this invention, in the case of this 3rd example, approached in the floor line at the both sides of a car body using the wheel-type mobile robot 100, and equipped with the detecting element 382 of a photosensor 38 in the shape of an array (drawing 10 shows only one side). Moreover, as shown in this drawing and drawing 11 , in the case of the 3rd example, the land marker 80 is expressed in the field field which consists of radii centering on the point C of being located on the vertical line for [84] inspection. Although there was inconvenience which cannot detect where [of the land marker 80] a robot is located, but must scan the camera 96 of an inspection system along with a certain imaginary line on space since the land marker 80 was a straight line in the case of the 1st and 2nd above mentioned example Since the land markers 80 are radii in the case of the 3rd example, as shown in drawing 11 , a robot's absolute location and bearing to the core C of radii (object for inspection) can be correctly recognized at once by extending a perpendicular from the middle point of a line to which the sensor array of both sides is connected. In addition, two or more land markers 80 may

be formed also in the 3rd example.

[0031] In any [of the 1st to 3rd example] case, since a self location can be promptly identified after arriving at the neighborhood for inspection, the inspection system 90 can be turned to the direction for [which was calculated] inspection at accuracy, it is not necessary to change a robot's location and sense into searching for the object 84 for inspection by trial and error, and a self-contained robot's maximum important concerns slack energy expenditure can be reduced remarkably.

[0032] In addition, in the 1st to 3rd example, although it explains on the assumption that a robot lands on a land marker, it may not be located by the precision mistake of dead REKONINGU. However, what is necessary is just to check the gap to self location and land marker using a camera 96, if such cases should be rare and it should be generated. Even in such a case, since a land marker functions as the focus, he is easy and the burden of a computer also has them than the conventional technique which extracts a certain description from the structure in an environment, and identifies a self-location. [few]

[0033] Drawing 12 is a flow chart which shows the 4th example of this invention, and is a flow chart which shows actuation of the migration control device concerning this invention. The 4th example is related with walk control in case the leg formula mobile robot which showed in the 1st example goes up and down

a stairway. As shown in drawing 13 , the land marker 80 is laid by this side and each stage of a stairway.

[0034] In addition, the 4th example is amelioration of the application (Japanese Patent Application No. No. 241,351 [four to]) which these people proposed previously. By the distributed load sensor of a contact process which one of the improving points is a location detection means, and was used previously, since there was inconvenience to which endurance gets worse in order that the big load at the time of a walk and a landing impact might act on the sole, it is in having used the photosensor 38. It was described previously. Two of improving points are improvement in precision of the location detection at the time of stairway rise and fall. Although explained, since it is hereafter stated to the application proposed previously for details, explanation is stopped simply.

[0035] If this control is put in another way as a premise when several steps of rise and fall are possible even if it does not control the relative position of a robot and a stairway, the range which can be walked to the relative position of a robot and a stairway will exist, and the case where the relative-position gap generated in the rise and fall which are one step is small will be considered. It enabled it to go up and down a stairway continuously by not performing control for landing **** on a target position in this control at accuracy, since it thinks [that it is actually such in many cases and], but performing control which prevents that

this relative-position gap accumulates, and controlling within limits with the walk possible in which which described the relative position of a robot and a stairway above, although it approves that a relative-position gap occurs in one step of arbitration.

[0036] Drawing 14 is control-block drawing showing the detail of this control. A target landing location (desired value) and $U(z)$ $S(z)$ by a diagram A step command value (control input), A real landing location (controlled variable) and $E(z)$ $Y(z)$ A relative-position gap (system deviation), In an integral element and $(1/z)$, 1 sampling lag unit and $K(z)$ express a control device, and, as for $\Delta(z)$, $G(z)$ expresses [disturbance and $I(z)$] the pulse transfer function from a robot's (controlled system) step command value to a real step. These relation comes to be shown in several 1 and several 2.

[0037]

[Equation 1]

$$\begin{aligned}
 Y(z) &= \frac{G(z) \{1 + z^{-1} I(z) K(z)\}}{1 + z^{-1} I(z) K(z) G(z)} S(z) \\
 &+ \frac{1}{1 + z^{-1} I(z) K(z) G(z)} \Delta(z) \\
 &= \frac{G(z) \{z - 1 + K(z)\}}{z - 1 + K(z) G(z)} S(z) \\
 &+ \frac{z - 1}{z - 1 + K(z) G(z)} \Delta(z)
 \end{aligned}$$

[0038]

[Equation 2]

$$\begin{aligned}
 E(z) &= \frac{z \{1 - G(z)\}}{z - 1 + K(z) G(z)} S(z) \\
 &- \frac{z}{z - 1 + K(z) G(z)} \Delta(z)
 \end{aligned}$$

[0039] Temporarily, for simplification, Gain k, then conditions for stability show G (z) to Gain g, and come to show control unit K (z) to several 3.

[0040]

[Equation 3]

安定条件 $|z| < 1$

$$\left. \begin{array}{l} 1 - k g < 1 \rightarrow -k g < 0 \rightarrow k g > 0 \\ -1 < 1 - k g \rightarrow -2 < -k g \rightarrow k g < 2 \end{array} \right\} 0 < k g < 2$$

[0041] Moreover, if the die length of a stairway is fixed at L (shown in drawing 15), since a target position will change in the shape of a step, the steady-state deviation over this comes to be shown in several 4, and is converged on constant value according to k , g , and L .

[0042]

[Equation 4]

$$\begin{aligned} e_{\infty} &= \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot \frac{z}{z - 1} L \cdot \frac{z(1 - g)}{z - 1 + k g} \\ &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z(1 - g)}{z - 1 + k g} L \\ &= \frac{1 - g}{k g} L \end{aligned}$$

[0043] Similarly, the steady-state deviation over the disturbance of the shape of an impulse of magnitude D and step-like disturbance comes to be shown in several 5 and several 6, and is converged on constant value according to 0 , or k ,

g and D.

[0044]

[Equation 5]

$$\begin{aligned}e^{\infty} &= \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot z^{-e} \cdot D \cdot \frac{z}{z - 1 + k g} \\&= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{(z - 1) \cdot z^{-e}}{z - 1 + k g} D \\&= \frac{0}{k g} D \\&= 0\end{aligned}$$

[0045]

[Equation 6]

$$\begin{aligned}e^{\infty} &= \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot \frac{D z}{z - 1} \cdot \frac{z}{z - 1 + k g} \\&= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z}{z - 1 + k g} D \\&= \frac{1}{k g} D\end{aligned}$$

[0046] What is necessary is just to determine Gain k so that it may be promptly

completed by the relative-position gap generated according to disturbance etc. and steady-state deviation may be settled in tolerance. Furthermore, if control unit $K(z)$ is constituted so that an integral element may be included, steady-state deviation over step-like desired value and step-like disturbance can be set to 0.

[0047] Here, $G(z)$ was first identified as gain g . Drawing 16 expresses $x(n)/u(n)$ with a histogram. Although he wanted to identify G which does not include the effect of disturbance (z) , i.e., g , originally, since detection of $w(n)$ was difficult, it identified from $x(n)/u(n)$. Since it is presumed that what is depended on disturbance is large as for the factor of the skirt being large, it does not become a big problem as gain about $G(z)$. Since the core of distribution was 1.02, it was thought that it was good also as $g = 1.02$, but it was referred to as $g = 1.06$ in order to evaluate to an insurance side. Control unit $K(z)$ is made into Gain k . Conditions for the control system at this time to become stability are set to $0 < k < 1.89 (1/g^2)$ from several 3 formulas. From several 4 formulas etc., k set to $k = 0.5$ or 0.75 , in order that steady-state deviation might avoid that the property of a control system becomes in oscillation although it becomes small and the larger one might give allowances to gain.

[0048] Moreover, the result at the time of not performing this control for a comparison is shown in drawing 17. Drawing 18 and drawing 19 are the results at the time of performing this control, and, in the case of $k = 0.5$, drawing 19 of

drawing 18 is the case of $k = 0.75$ inside. The die length of the stairway which each went up and down is 280mm. When not performing this control so that clearly from drawing 17 , a relative-position gap will increase almost linearly and it will exceed 20mm in the 3 to 4th step. On the other hand, as for it, the result of having performed this control turns out [which were shown in drawing 18 and drawing 19] like that a relative-position gap is not emitted but is converged on about 1 constant value. It is converged as about 10mm by the case of $k = 0.5$, and the case of $k = 0.75$ is converging the relative-position gap on about 7.5mm. Since it is set to 7mm as $g = 1.02$ at the time of 11mm and $k = 0.75$ at the time of $k = 0.5$ according to several 4 formulas, it turns out that the result of this control sees theoretically and is appropriate.

[0049] With reference to the drawing 12 flow chart, actuation of this control unit is explained on the assumption that the above.

[0050] First, each part of equipment is initialized by S10, and it progresses to S12, and loads from ROM64 which described the gait parameter above there. Here, a robot's gait shall be beforehand designed in consideration of dynamic stability conditions, and shall be memorized by ROM64 as a gait parameter. This gait parameter is expressed in a **** target landing location etc. Then, if it progresses to S14, a start signal is stood by and a start signal arises, it progresses to S16, and a counter will be incremented, and it will progress to S18,

and will judge whether it is gait correction timing. About this, it mentions later.

[0051] When denied by S18, a position parameter is calculated by subsequently to S20 progressing. Since this has some which need a interpolation operation in the above mentioned gait parameter, it calculates the position parameter of the time of day which asks for it here and is specified with the counter of S16. Then, unless progress to S22, and calculate the include angle of 12 joints and it progresses to S24, and stand by a synchronizing signal, outputs the joint include angle computed by having progressed to S26 in the place which was able to take the synchronization, it progresses to S28 and it is judged as walk termination, while returning to S16 and repeating the same activity, when judged as termination, it progresses to S30, and a counter is reset and it finishes. That is, the loop formation of S16 to S28 is carried out to every [of the counter of S16] unit time amount (for example, 20ms). Moreover, although servo control is performed-like in parallel according to the flow chart shown in drawing 20 in the 2nd arithmetic unit 62 described above so that it might become that joint include angle based on the joint include angle outputted by S26, since this activity is well-known, explanation is omitted.

[0052] In the procedure so far, a robot reproduces and walks a stable gait on the dynamics target designed beforehand. Moreover, control for maintaining the stability of a walk against disturbance is also performed simultaneously.

However, the explanation about stabilization control is omitted here. It can go up and down a stairway until a relative-position gap is accumulated and it separates from a robot by the described conventional technique by the above from the range which can walk a relative position. In this control, when the length went up and down the general stairway which is 280mm, the above mentioned range which can walk a relative-position gap was influenced by $\pm 60\text{mm}$, and an environment and disturbance, but on the average, since the relative-position gap generated in per rise and fall of one step of stairway was about 5 to 10mm, it has gone up and down succeeding ten-step order.

[0053] Here, although it was judged in the drawing 12 flow chart whether it is gait correction timing in S18, the event of a foot carrying out bed leaving in this control was made into gait correction timing. Since having considered timing which detects a relative-position gap as the time of bed leaving can correct a \pm orbit using between [whole] swing phases if a relative-position gap is detected before bed leaving and it feeds back to a target landing location, while modification that it is not rapid and smooth is attained and being able to suppress lowering of the stability of a gait to the minimum, it is because the newest relative-position gap can be used for control in time.

[0054] And when judged as the time of bed leaving by S18, it progresses to S32, when the robot has gone up and down the stairway, the photosensor 38

arranged at ****22R (L) detects the edge of a stairway for every step, and the relative-position gap with a stairway is detected as compared with the target position of the edge indicated in the gait parameter. Then, the target landing location which it does not accumulate according to a gap of the relative position and include angle which progressed to S34 and were detected and which determines the suitable amount of target step corrections like, progresses to S36 continuously, and is indicated in the gait parameter is rewritten.

[0055] Updating of a target landing location specifically changes a step from the gait with which a robot's gait was designed beforehand. For example, by +20mm, if the relative-position gap by the stage of arbitration sets to 0.5, Gain k will set the step of one step as follows to $280\text{mm}(\text{die length of stairway})-(20\text{mm}\times 0.5)=270\text{mm}$ so that clearly from drawing 15 . And since the landing location of ****22R (L) is determined by the revolution of the circumference of x, y, the directions of z, and those shafts, those all or parts are corrected so that it may become the changed step. If the above procedure is repeated for every step during stairway rise and fall, accumulation of a relative-position gap can be prevented and any number of steps can go up and down continuously.

[0056] Since this example was constituted as mentioned above, also in the environment where constraint is received, it can move to landing locations, such as a stairway, at stability and a high speed. Furthermore, since a relative

position is detectable also in a flat location without the edge before a stairway as shown in drawing 13 , while a corrective action becomes possible from one step of the beginning, a relative position is detectable even if a bias is in the distribution of load of a robot's sole, as shown in drawing 21 . Moreover, since a photosensor 38 is a non-contact type, its endurance also improves.

[0057] Drawing 22 is the explanatory view showing the 5th example of this invention. In this case, while having arranged the detecting element 382 of a photosensor 38 in the shape of an array at the ****22R (L) order edge, the land marker 80 was installed so that it might become a robot travelling direction and parallel. Thereby, the location and include angle of a longitudinal direction are detectable by the same principle. Furthermore, if a sensor detecting element is arranged right and left before and after **** so that naturally, the location of a robot's cross direction, the location of a longitudinal direction, and all the angle of rotation are detectable. In addition, other configurations and effectiveness do not differ from the content shown previously.

[0058] Drawing 23 is the explanatory view showing the 6th example of this invention. In the case of this example, notching section 80a was formed in the ends of the land marker 80 located near the right-and-left edge of a stairway. Consequently, since three field fields where attributes differ in lightness are constituted continuously and a sensor output is different by notching section 80a

as shown in drawing 24 , **** 22R was located there, namely, can detect having landed near the right-and-left*edge of a stairway, and can change a track near the mid gear of a safe stairway.

[0059] Drawing 25 is the explanatory view showing the 7th example of this invention, and shows the control when going up and down a spiral staircase. As a spiral staircase shows drawing 26 , when it has the same curvature to Core Cs, the walk course should increase as the distance over Core Cs becomes large. This example was made paying attention to that point.

[0060] Hereafter, if it explains along with the drawing 25 flow chart, it starts from S10 and progresses to S18, and it will be judged as gait correction timing, will progress to S32, and a gap will be detected. It is the same as that of the 4th example so far.

[0061] It continues in the 7th example, progresses to S320, and is the target step Lo (shown in drawing 26). Gap ΔL of said step W_n , and a being the same and a actual step is compared with the predetermined value LTH. The predetermined value LTH of the probability from which it separated from the planned walk course of a spiral staircase when exceeding this is high, and it is the decision criterion which needs course correction. It is the distance planned through a plan course (broken line) in drawing 26 . By S320, it shifts, and when it is judged that ΔL does not exceed the predetermined value LTH, it

progresses to S322 and S324, and the amount of corrections is determined if needed, a gait parameter is corrected, and a step is amended.

[0062] When it progresses and shifts to S326 when it is judged that it shifted in S320 and ΔL exceeded the predetermined value LTH, and whether it checked that ΔL was the same sign, the value of a counter was incremented, it progressed to S328, and the counter value became two or more judges and it is denied, it progresses to S322. On the other hand, since it can presume that the course has swerved from the thing of a plan actually when it is judged that the counter value became two or more by S328, for example, as shown in drawing 26 , a gait parameter is corrected in S330 and a course is amended. Then, it progresses to S332, and a counter value is reset, it progresses to less than [S20], and the same processing as the 4th example is performed. In addition, in this example, it cannot be overemphasized like the 4th example that a land marker is laid in this side and each stage of a spiral staircase.

[0063] Since it constituted like the above, also when going up and down a spiral staircase, according to an expected locus, the 7th example is stabilized and can always be walked.

[0064] Drawing 27 is the explanatory view showing the 8th example of this invention, replaces with P control law shown in the drawing 14 block diagram on the occasion of the decision of the amount of corrections of S34 of the drawing

12 flow chart, and shows the example which corrects desired value using a PID-control rule. A residual configuration does not differ from the content thru/or the 4th and 7th example shown previously.

[0065] Drawing 28 is the explanatory view showing the 9th example of this invention, and shows the example which combined the adaptive control rule with the PID-control rule.

[0066] Drawing 29 is the explanatory view showing the 10th example of this invention, and senses bending of slipping of a road surface and ****, secular change, and a link etc. by that learning function using a neural network. Moreover, the neutral zone which can absorb the die length of a stairway is then formed. In addition, the strength of association between the neurone shown by O mark in drawing 29 is updated by BP rule.

[0067] In the above-mentioned 1st thru/or the 10th above-mentioned example, since detection of a relative position will be attained if a flat road surface also installs a land marker, it is applicable also to the location which needs to detect a self-location to accuracy besides a stairway. for example, as shown in drawing 30 , when exceeding ranging over an obstruction (the location of a cross direction becomes important in this case), as it is shown in drawing 31 , when passing through a narrow path (the location of a longitudinal direction becomes important), it is a time (the location of order and a longitudinal direction, and

angle of rotation -- it both becomes important) of turning, as shown in drawing 32 etc. Furthermore, if the parameter to control is discrete when arriving thru/or passing at the time of day set to the target point thru/or the passage point when walking a sleeper or rail top, ** which is an include angle as it is a location cannot be asked, but it can apply widely.

[0068] Drawing 30 can be applied also when a track should be changed in the middle of moving trucking, it only draws the land marker on the location of the turn, and is movable to stability and a high speed. If desired moving trucking is guided by this technique, it can recognize to accuracy to the bearing which spreading of paint decreases remarkably compared with the case where a guide wire is applied covering the whole path, and could not be known with that conventional technique.

[0069] In the above 1st thru/or the 10th example, although two kinds, a leg formula and a wheel type, were mentioned as a mobile robot's example, the following differences are among both according to a migration mechanism. In the thing of a wheel type, since the sensor itself moves a road surface continuously, if it is taking notice of only the output of the sensor of the beginning of a sensor array even if the precision of dead REKONINGU is somewhat bad, it can presume having arrived at the request point with the event of an output signal changing. It is higher for practicability to use this invention for a

wheel-type mobile robot in this semantics.

[0070] On the other hand, there is not necessarily a possibility of a landing location being theoretically discrete and straddling a land marker in a leg formula mobile robot. however, the thing for which a land marker's width of face is made large -- or like the above-mentioned, when it approaches near the, it can respond by improvement of a gait, such as narrowing a step. Moreover, as for the orbit of ****, apart from it, it is desirable also in a fundamental gait to set [which becomes close to a road surface as much as possible] up like. In addition, since a leg formula mobile robot is in dominance overwhelmingly in a stairway walk as shown in the 4th and 7th example, when the stairway is included in moving trucking, it is useful [this invention] to use it for a leg formula mobile robot.

[0071] In addition, in the above 1st thru/or the 10th example, although a leg formula and wheel-type mobile robot's example was shown, it cannot be overemphasized that it carries out appropriate also to the robot of a crawler type.

 [0072]

[Effect of the Invention] If it is in claim 1 term, the relative position thru/or include angle to a partition means can be detected easily, and, therefore, the relative position of the mobile robot (working robot) and object in migration space can be detected easily. Moreover, since it is simple as a configuration, it is

comparatively realizable with the computer of a low.

[0073] If it is in claim 2 term, the relative position thru/or include angle to a partition means can be easily detected like claim 1 term, and, therefore, whenever [of duality location / of the mobile robot (working robot) and object in migration space / and angular relation] can be detected easily. Moreover, it is comparatively realizable with the computer of a low.

[0074] If it is in claim 3 term, the absolute location thru/or absolute include angle to a partition means can be detected easily, and, therefore, a location can be more easily detected for whenever [of duality location / of the mobile robot (working robot) and object in migration space /, and angular relation]. Moreover, it is comparatively realizable with the computer of a low.

[0075] If it is in claim 4 term, the relative bearing to the object for an activity is easily detectable.

[0076] If it is in claim 5 term, the location of the travelling direction to the object for an activity and bearing are easily detectable.

[0077] If it is in claim 6 term, while the location and include angle in migration space are detectable, it can detect with the rear face at the head of the leg also about the field where a distributed load is small, and detection precision can be raised. Furthermore, the endurance of equipment can be raised.

[0078] Like claim 6 term, if it is in claim 7 term, while the location and include

angle in migration space are detectable, it can detect with the rear face of ****
also about the field where a distributed load is small, and detection precision can
be raised. Furthermore, the endurance of equipment can be raised.

[0079] If it is in claim 8 term, a location and an include angle can be detected and
a corrective action becomes possible from one step of the beginning at the time
of stairway rise and fall also in a flat location without the edge of this side which
goes up and down a stairway. Moreover, also in case the location which needs
to detect a location or an include angle exact besides rise and fall of a stairway is
walked, it can apply.

[0080] If it is in claim 9 term, the detection range can be expanded most
effectively.

[0081] If it is in claim 10 term, the resolution of a detection include angle can be
raised and detection precision can be raised.

[0082] Endurance can be raised if it is in claim 11 term.

[0083] If it is in claim 12 term, it can go up and down a stairway safely.

[0084] If it is in claim 13 term, also when going up and down a spiral staircase,
according to an expected locus, it can always stabilize and walk.

[0085] If it is in claim 14 term, a land marker's location is certainly detectable.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the schematic diagram, showing a mobile robot's location detection and control device on the whole taking the case of the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes walk.

[Drawing 2] It is the explanation block diagram of the control unit shown in drawing 1 .

[Drawing 3] It is the explanation side elevation showing the leg formula mobile robot of drawing 1 focusing on arrangement of a location detection means (photosensor).

[Drawing 4] It is the explanatory view showing the installation condition of the photosensor to **** of the leg formula mobile robot of drawing 3 .

[Drawing 5] It is the explanatory view showing the detection range of the photosensor when not preparing a land marker in an environment side with the configuration of drawing 3 .

[Drawing 6] It is the explanatory view showing the detection range of the photosensor at the time of preparing a land marker with the configuration of drawing 3 .

[Drawing 7] It is the explanatory view showing the 1st example of this invention

showing the neighborhood for inspection in workspace, and a land marker.

[Drawing 8] It is the explanatory view showing the example which detects a gap (bearing) with the configuration of drawing 3 .

[Drawing 9] It is the explanatory view showing the 2nd example of this invention showing the neighborhood for inspection in workspace, and a land marker.

[Drawing 10] While using radii as a land marker in the 3rd example of this invention, using a wheel type as a mobile robot, it is the explanatory view showing the case where that core is set on the vertical line for inspection.

[Drawing 11] It is the explanatory view showing detection of the core (object for inspection) of the radii in the 3rd example.

[Drawing 12] It is the flow chart which shows the 4th example of this invention.

[Drawing 13] It is the explanatory view showing the migration space (stairway) in the 4th example, and a land marker.

[Drawing 14] It is the block diagram showing the landing location amendment control of the control of the drawing 12 flow chart.

[Drawing 15] It is the explanatory view showing rise-and-fall actuation of the stairway planned by drawing 14 .

[Drawing 16] It is the histogram which shows the gap property of a actual landing location over the target landing location at the time of a robot's stairway rise and fall.

[Drawing 17] It is experimental data drawing showing the gap with the target landing location when going up and down a stairway, without a robot with the property shown in drawing 16 performing this control, and a actual landing location.

[Drawing 18] It is experimental data drawing showing the gap with the target landing location when a robot with the property shown in drawing 16 performing this control, and going up and down a stairway, and a actual landing location.

[Drawing 19] It is another experimental data drawing showing the gap with the target landing location when a robot with the property shown in drawing 16 performing this control, and going up and down a stairway, and a actual landing location.

[Drawing 20] It is the flow chart which shows the activity for which it opts by the drawing 12 flow chart, and which carries out servo control of the joint include angle outputted to desired value.

[Drawing 21] It is the explanatory view showing the condition that it is detectable in the field where a distributed load is small, with the configuration of drawing 3 .

[Drawing 22] It is the explanatory view showing the 5th example of this invention showing the example which prepares so that it may become parallel to a robot travelling direction on a stairway, and enabled it to detect the location and include angle of a longitudinal direction.

[Drawing 23] It is the explanatory view showing the 6th example of this invention.

[Drawing 24] It is the explanatory view showing detection actuation in the 6th example.

[Drawing 25] It is the flow chart which shows the 7th example of this invention.

[Drawing 26] It is the explanatory view showing detection actuation in the 7th example.

[Drawing 27] It is control-block drawing showing the 8th example of this invention.

[Drawing 28] It is control-block drawing showing the 9th example of this invention.

[Drawing 29] It is control-block drawing showing the 10th example of this invention.

[Drawing 30] It is the explanatory view in which a leg formula mobile robot shows the condition over an obstruction.

[Drawing 31] It is the explanatory view showing the condition that a leg formula mobile robot passes through a narrow path.

[Drawing 32] It is the explanatory view in which a leg formula mobile robot shows the condition of turning.

[Drawing 33] It is the explanatory view showing the condition that a leg formula mobile robot goes up a stairway.

[Description of Notations]

1 Leg Formula Mobile Robot (2-Pair-of-Shoes Bipedal Robot)

2 Leg Link

10R, 10L Joint for leg winding

12R, 12L Joint of the pitch direction of the lumbar part

14R, 14L Joint of the roll direction of the lumbar part

16R, 16L Joint of the roll direction of a knee region

18R, 18L Joint of the roll direction of a guide-peg neck

20R, 20L Joint of the pitch direction of a guide-peg neck

22R, 22L **** (foot)

24 Case (Base)

26 Control Unit

38 Photosensor

80 Land Marker

82 Workspace

84 Object for Inspection

90 Inspection System

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

特許第3330710号
(P3330710)

(45) 発行日 平成14年9月30日 (2002. 9. 30)

(24) 登録日 平成14年7月19日 (2002. 7. 19)

(51) Int.Cl.⁷ 識別記号
B 2 5 J 19/02
5/00
G 0 1 B 11/00
G 0 5 D 1/02

F I
B 2 5 J 19/02
5/00 F
G 0 1 B 11/00 H
G 0 5 D 1/02 J

請求項の数14(全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平5-351150
(22) 出願日 平成5年12月30日 (1993. 12. 30)
(65) 公開番号 特開平7-205085
(43) 公開日 平成7年8月8日 (1995. 8. 8)
審査請求日 平成11年10月15日 (1999. 10. 15)

(73) 特許権者 000005326
本田技研工業株式会社
東京都港区南青山二丁目1番1号
(72) 発明者 西川 正雄
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式
会社本田技術研究所内
(72) 発明者 小澤 信明
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式
会社本田技術研究所内
(74) 代理人 100081972
弁理士 吉田 豊 (外1名)
審査官 田村 耕作

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 移動ロボットの位置検知および制御装置

1

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 a. 移動ロボットが移動する空間を、円弧および直線の少なくともいずれかによって属性の異なる少なくとも2つの面領域に区分する区分手段、および

b. 前記属性の相違に応じて異なる信号を出力するアレイ状に連続して配置された n ($n > 1$) 個のセンサ素子からなり、前記移動ロボットの接地部位付近に配列されたセンサアレイ、

とを備え、前記区分手段の幅を前記 n 個のセンサ素子によって規定される前記センサアレイの幅と同一あるいはほぼ同一の値に設定すると共に、前記センサアレイを構成する n 個のセンサ素子のうちの連続する m ($m < n$) 個の出力信号と、残りの $n - m$ 個の出力信号の相違に基づいて前記移動ロボットと前記区分手段との相対位置を

2

検知することを特徴とする移動ロボットの位置検知装置。

【請求項2】 a. 移動ロボットが移動する空間を、円弧および直線の少なくともいずれかによって属性の異なる少なくとも2つの面領域に区分する区分手段、および

b. 前記属性の相違に応じて異なる信号を出力するアレイ状に連続して配置された複数個のセンサ素子からなり、前記移動ロボットの接地部位付近の両端に配列された2列のセンサアレイ、

とを備え、前記区分手段の幅を前記複数個のセンサ素子によって規定される前記センサアレイの幅と同一あるいはほぼ同一の値に設定すると共に、前記2列の一方に配列されたセンサアレイを構成する複数個のセンサ素子の出力信号群と、他方に配列されたセンサアレイを構成す

る複数のセンサ素子の出力信号群の相違に基づいて前記移動ロボットと前記区分手段との相対位置および相対角度の少なくともいずれかを検知することを特徴とする移動ロボットの位置検知装置。

【請求項 3】 a. 移動ロボットが移動する空間を、円弧によって属性の異なる少なくとも 2 つの面領域に区分する区分手段、

および

b. 前記属性の相違に応じて異なる信号を出力するアレ
イ状に連続して配置された複数のセンサ素子からな
り、前記移動ロボットの接地部位付近の両端に配列され
た 2 列のセンサアレイ、

とを備え、前記区分手段の幅を前記複数のセンサ素子
によって規定される前記センサアレイの幅と同一ある
いはほぼ同一の値に設定すると共に、前記 2 列の一方に配
列されたセンサアレイを構成する複数のセンサ素子の
出力信号群と、他方に配列されたセンサアレイを構成す
る複数のセンサ素子の出力信号群の相違に基づいて前
記移動ロボットと前記区分手段を構成する円弧の中心点
との相対位置および相対角度の少なくともいずれかを検
知することを特徴とする移動ロボットの位置検知装置。

【請求項 4】 前記移動ロボットが作業ロボットであ
って、作業対象ないしはその鉛直線上に前記円弧の中心点
を位置させたことを特徴とする請求項 3 項記載の移動ロ
ボットの位置検知装置。

【請求項 5】 前記センサアレイがロボットの進行方向
に平行して配列されることを特徴とする請求項 1 項から
4 項のいずれかに記載の移動ロボットの位置検知装置。

【請求項 6】 a. 移動空間における脚式移動ロボットの
位置および角度の少なくともいずれかを検出する検出手
段、

および

b. 前記検出された位置および角度と目標位置との偏差
を求め、それに応じて歩容または歩容に関する目標値の
少なくともいずれかを修正する修正手段、

とを有する脚式移動ロボットの制御装置であって、前記
検出手段としてアレ
イ状に連続して配置された複数の
非接触式センサ素子からなり、前記移動ロボットの足部
の両端に配列された少なくとも 2 列のセンサアレイを備
えと共に、前記 2 列の一方に配列されたセンサアレイ
を構成する複数のセンサ素子の出力信号群と、他方に
配列されたセンサアレイを構成する複数のセンサ素子
の出力信号群の相違に基づいて前記移動ロボットの位置
および角度の少なくともいずれかを検出することを特徴
とする脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 7】 a. 移動空間における脚式移動ロボットの
位置および角度の少なくともいずれかを検出する検出手
段、

および

b. 前記検出された位置および角度と目標位置との偏差

を求め、前記偏差が累積しないように歩容または歩容に
関する目標値の少なくともいずれかを修正する修正手
段、

とを有する脚式移動ロボットの制御装置であって、前記
検出手段としてアレ
イ状に連続して配置された複数の
非接触式センサ素子からなり、前記移動ロボットの足部
の両端に配列された少なくとも 2 列のセンサアレイを備
えと共に、前記 2 列の一方に配列されたセンサアレイ
を構成する複数のセンサ素子の出力信号群と、他方に
配列されたセンサアレイを構成する複数のセンサ素子
の出力信号群の相違に基づいて前記移動ロボットの位置
および角度の少なくともいずれかを検出することを特徴
とする脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 8】 前記移動空間にそれを属性の異なる少な
くとも 2 つの面領域に区分する区分手段を設けると共
に、前記センサ素子が前記属性の相違によって異なる信
号を出力するものであることを特徴とする請求項 6 項ま
たは 7 項記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 9】 前記区分手段の幅を前記複数のセンサ
素子によって規定される前記センサアレイの幅と同一あ
るいはほぼ同一の値に設定することを特徴とする請求項
6 項から 8 項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制
御装置。

【請求項 10】 前記少なくとも 2 列のセンサアレイ
が、前記ロボットの進行方向に平行する足部の左右両端
および進行方向に直交する足部の前後両端の少なくとも
いずれかに配置されることを特徴とする請求項 6 項から
9 項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 11】 前記非接触式センサ素子が、光学式セ
ンサ素子であることを特徴とする請求項 6 項から 10 項
のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 12】 前記脚式移動ロボットが移動する空間
が階段であり、前記区分手段に階段面の左右端部付近に
おいて、前記端部を代表する属性が設けられていること
を特徴とする請求項 8 項から 11 項のいずれかに記載の
脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項 13】 脚式移動ロボットの制御装置におい
て、

a. らせん階段における前記ロボットの任意の歩行コー
スに関する目標値を決定または修正する第 1 の手段、
および

b. 前記ロボットとらせん階段との相対位置および相対
角度を検出する第 2 の手段、

を備え、前記第 2 の手段は、アレ
イ状に連続して配置され
た複数の非接触式センサ素子からなり、前記移動ロ
ボットの足部の両端に配列された少なくとも 2 列のセン
サアレイを備えと共に、前記 2 列の一方に配列された
センサアレイを構成する複数のセンサ素子の出力信号
群と、他方に配列されたセンサアレイを構成する複数の
センサ素子の出力信号群の相違に基づいて前記移動ロ

ロボットと前記らせん階段との相対位置および相対角度の少なくともいずれかを検出し、前記第1の手段は、前記第2の手段が任意のn回目までの前記目標値に対応して検出した前記相対位置および相対角度に基づいて次のn+1回目の前記目標値を決定または修正するものであることを特徴とする脚式移動ロボットの制御装置。

【請求項14】 少なくとも前記区分手段の付近において、前記脚式移動ロボットの脚部を、その歩幅が前記区分手段の進行方向長さの実質的に2倍以下の長さとなるように、駆動制御することを特徴とする請求項8項から12項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は移動ロボットの位置検知および制御装置に関し、より具体的には移動体の作業空間における相対的な位置ないし方角を簡易に検知することができるようにしたものに關する。また、移動ロボットのうち脚式移動ロボットについて、階段など着地位置に制約を受ける環境においても安定かつ高速に移動できるように制御するものに關する。

【0002】

【従来の技術】今までに移動ロボットとしては車輪式、クローラ式、脚式など種々の形態のものが提案されているが、その様な移動ロボットが作業空間で、あるタスクを実行するときは、作業空間上に作業対象があって、その対象に向かって作業することが求められる。しかしながら、移動ロボットは、移動中に自己位置の計測誤差や移動機構と路面との間の滑りなど、不確実な要素が介在するために、移動した後に作業対象に正しく相対しているかどうか定かではない。こうした理由のために、移動ロボットは、移動終了後に自己が作業対象に対してどの位置にいてどの方向を向いているのかを正しく認識する必要がある。

【0003】無論、移動中に、接近しつつある作業対象と自己の位置関係を実時間で計測し続けることができれば問題はないが、このような手法は膨大な情報処理を必要とし、少なくとも現時点では現実的ではない。情報処理の量を減少させる目的で、移動空間に人工的な補助手段（例えばテープ）を移動経路に沿って敷設することは、特開昭59-32009号、特開昭59-121506号、特開昭55-97609号などで提案されている。また、電磁誘導線などを埋設することも公知である。

【0004】しかし、これら手法によるときは、作業空間側に必要な施設を設ける必要があって煩瑣であると共に、電磁誘導線などを埋設するには多大なコストを必要とする。更に、作業空間が例えば原子力施設である様な場合は、大規模な環境の変更が事実上できないことが多い。

【0005】また、作業対象に対する自己の位置・方角を認識するには、カメラなどの視覚情報を用いて、撮像した画像と予め記憶した画像との間でパターンマッチング手法などを利用して行うことも知られている。この手法では通常、処理すべき情報量を低減するために、画像の一部をウィンドウ処理して探索時間を短縮している。移動ロボットの作業が機器の点検であるような場合には、点検対象である機器、例えば圧力計などを撮像した画像を自己位置同定に用いるならば、まだしも作業時間を短縮できるが、通常は圧力計などより一層明瞭な特徴を備える他の機器、あるいは建築構造物が自己位置同定に用いられ、自己位置が同定できてから更に点検対象物を探索するのが普通であるから、作業速度は遅い。作業速度は、搭載するコンピュータの性能を増すことで、アップすることができるが、コスト面では低性能のコンピュータを使用するのが望ましく、また自律型のロボットの場合、コンピュータの性能は、重量、消費エネルギーなどから自ずと制約される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】この発明はこの様な事情に鑑みてなされたもので、作業空間にわずかのランドマーカを付すのみで、移動を伴う作業ロボットが作業位置に正しく到達したかどうかを、比較的 low 性能のコンピュータを用いて実時間で精度良く検知することができる移動ロボットの位置検知装置を提案することにある。

【0007】更に、移動ロボットの中で、脚式移動ロボットの様に着地位置が離散的なものが、着地位置に制約を受ける環境を移動するとき、例えば階段などを昇降するときは、着地位置を細心に制御する必要がある。即ち、図33に示す様に脚式移動ロボットが階段を昇る際に、ロボットと階段との相対位置が後ろ過ぎると安定性を保つために活用できる接地面積が小さくなって姿勢が不安定となり、逆に相対位置が前過ぎると、次の段に移動するとき遊脚が干渉して同様に姿勢の安定を崩す。この様に、階段など着地位置が制約を受ける環境を移動するときは、ロボットと階段との相対位置を制御する必要がある。

【0008】そこで、本願出願人は先に特願平4-241,351号において、脚式移動ロボットが階段など移動に制約を受ける環境を安定した姿勢で高速に移動できるようにした脚式移動ロボットの制御装置を提案している。しかしながら、その提案においては位置検出手段として接触式センサを足裏に装着していたため、耐久性が必ずしも十分ではなかった。

【0009】従って、この発明の第2の目的は、その先に提案した発明の改良にあり、より具体的には、作業空間内にわずかのランドマーカを付すのみで、移動を伴う作業ロボットが作業位置に正しく到達したかどうかを、比較的 low 性能のコンピュータを用いて実時間で精度良く検知することができると共に、非接触式センサを用いて

耐久性を向上させ、更に自己位置同定精度を向上させるようにした脚式移動ロボットの制御装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記した課題を解決するためにこの発明は例えば請求項1項に示す如く構成した。後述する実施例の表現を付記して説明すると、請求項1項にあっては、移動ロボット1、100が移動する空間を、円弧および直線の少なくともいづれかによって属性の異なる少なくとも2つの面領域に区分する区分手段（ランドマーカ80）、および前記属性の相違に応じて異なる信号を出力するアレイ状に連続して配置された n ($n > 1$) 個のセンサ素子からなり、前記移動ロボット1、100の接地部位付近に配列されたセンサアレイ382、とを備え、前記区分手段（ランドマーカ80）の幅を前記 n 個のセンサ素子によって規定される前記センサアレイ382の幅と同一あるいはほぼ同一の値に設定すると共に、前記センサアレイ382を構成する n 個のセンサ素子のうちの連続する m ($m < n$) 個の出力信号（例えばオン信号）と、残りの $n - m$ 個の出力信号（例えばオフ信号）の相違に基づいて前記移動ロボット1、100と前記区分手段（ランドマーカ80）との相対位置を検知するように構成した。

【0011】

【作用】区分手段に対する相対位置ないし角度を容易に検知することができ、よって移動空間における移動ロボット（作業ロボット）の位置を容易に検知することができる。また構成として簡易であるので、比較的低レベルのコンピュータをもって実現することができる。

【0012】

【実施例】以下、移動ロボットとして2足歩行の脚式移動ロボットと車輪式の移動ロボットとを例にとってこの発明の実施例を説明する。

【0013】図1は脚式移動ロボットのロボット1を全体的に示す説明スケルトン図であり、左右それぞれの脚部リンク2に6個の関節を備える（理解の便宜のために各関節をそれを駆動する電動モータで示す）。該6個の関節は上から順に、腰の脚部回旋用の関節10R、10L（右側をR、左側をLとする。以下同じ）、腰のピッチ方向（x軸まわりに回転）の関節12R、12L、同ロール方向（y軸まわりに回転）の関節14R、14L、膝部のロール方向の関節16R、16L、足首部のロール方向の関節18R、18L、同ピッチ方向の関節20R、20Lとなっており、その下部には足平（足部）22R、22Lが取着されると共に、最上位には筐体（基体）24が設けられ、その内部には制御ユニット26が格納される。

【0014】上記において腰関節は関節10R（L）、12R（L）、14R（L）から構成され、また足関節は、関節18R（L）、20R（L）から構成される。

また、腰関節と膝関節との間は大腿リンク32R、32Lで、膝関節と足関節との間は大腿リンク34R、34Lで連結される。ここで、脚部リンク2は左右の足についてそれぞれ6つの自由度を与えられ、歩行中にこれらの $6 \times 2 = 12$ 個の関節（軸）をそれぞれ適宜な角度に駆動することで、足全体に所望の動きを与えることができ、任意に3次元空間を歩行することができる様に構成される。先に述べた様に、上記した関節は電動モータからなり、さらにはその出力を倍力する減速機などを備えるが、その詳細は先に本出願人が提案した出願（特願平1-324218号（特開平3-184782号））などに述べられており、それ自体はこの発明の要旨とするところではないので、これ以上の説明は省略する。

【0015】図1に示すロボット1において、足首部には公知の6軸力センサ36が設けられ、足平を介してロボットに伝達されるx、y、z方向の力成分 F_x 、 F_y 、 F_z とその方向まわりのモーメント成分 M_x 、 M_y 、 M_z とを測定し、足部の着地の有無と支持脚に加わる力の大きさと方向とを検出する。また、足平22R（L）の裏面には位置検出手段として、先に提案した技術で使用した接触式の分布加重センサに代えて、非接触型の反射式光センサ38が装着される（図1で図示省略）。

【0016】さらに、筐体24には傾斜センサ40が設置され、x-z平面内のz軸に対する傾きとその角速度、同様にy-z平面内のz軸に対する傾きとその角速度を検出する。また各関節の電動モータには、その回転量を検出するロータリエンコーダが設けられる。さらに、図1では省略するが、ロボット1の適宜な位置には傾斜センサ40の出力を補正するための原点スイッチ42が設けられる。これらの出力は前記した筐体24内の制御ユニット26に送られる。

【0017】図2は制御ユニット26の詳細を示すブロック図であり、マイクロ・コンピュータから構成される。そこにおいて傾斜センサ40などの出力はA/D変換器50でデジタル値に変換され、その出力はバス52を介してRAM54に送られる。また各電動モータに隣接して配置されるエンコーダの出力はカウンタ56を介してRAM54内に入力されると共に、原点スイッチなどの出力は波形整形回路58を経て同様にRAM54内に格納される。制御ユニット内にはCPUからなる第1、第2の演算装置60、62が設けられており、第1の演算装置60は後述の如くROM64に格納されている歩容パラメータを読み出して目標関節角度を算出してRAM54に送出する。また第2の演算装置62は後述の如くRAM54からその目標値と検出された実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な制御値を算出してD/A変換器66とサーボアンプを介して各関節を駆動する電動モータに出力する。また、ROM64には作業空間についての環境地図情報が格納される。

【0018】ここで、図3および図4を参照して先に述べた光センサ38について説明すると、光センサ38を検出部382とセンサ本体384とから構成すると共に、検出部382を足平22R(L)の両側にそれぞれ5個づつ1列にアレイ状に配置し、発光部から床面に発せられた光の反射光量を検出する。そして検出部382を光ファイバケーブル386でセンサ本体384と接続し、それを介して光信号(反射光)を伝達させる。センサ本体384は、光信号を電気信号(デジタル)に変換する。光センサ38は片足で10個使用しているので、多数の光ファイバケーブルや電気信号用ケーブルを可動部分の多い脚部リンク2を経由して筐体24に収納した制御ユニット26まで配線することは、配線の取回しが困難で配線重量も増加する。そこで、光センサ本体384をできるだけ検出部位に近い位置に装着することとし、より具体的には下腿リンク34R(L)の内部に装着した。

【0019】更に、左右の下腿リンク34R(L)の内部にはそれぞれ、センサ本体群の付近にD/A変換器39を1個配置し、計10個のセンサ出力を5個づつ1つのアナログ信号に変換し、多芯ケーブル72を介して制御ユニット26内のA/D変換器50に送出し、そこでアナログ信号を数値処理可能なデジタル信号に変換する。第1の演算装置60はバス52を介してA/D変換器50から必要なデータを読み出し、適当な処理を行って足平22R(L)の外側、内側それぞれ5個、左右の脚部を合わせて合計20個の光センサ380の出力状態(オン/オフ)を検知する。この出力状態は、光センサに反射光があるときをオンとする。

【0020】ここで、各列5個のセンサ検出部382の中心間の間隔は、5mmとする。尚、足平22R(L)の幅は、図5に示す様に、200mmとする。片側の5個のセンサアレイで検出できる範囲を考えると、全部のセンサがオンまたはオフの状態では相対位置が分からないので、図5に示す如く、例えば階段などのエッジを検出する場合には同図に示す如く、全ての出力がオンまたはオフであると検出できないため、オンの数が1~4個に対応する15mmの範囲となる。検出範囲が15mmとすると、着地制御などの相対位置誤差はそれ以下にしなければならないが、実際問題として検出範囲が15mmでは小さすぎることから、ランドマーカを利用して検出範囲を拡大する。即ち、図6に示す様に、ランドマーカ80の幅をセンサアレイの幅とほぼ等しい値、即ち、検出部間隔を前述の如く5mmとすると、センサアレイの幅は実質的に約20mmとなるので、ランドマーカ80の幅もそれと同等の20mmとする(図面では理解の便宜のため誇張して示す)。これによって、最も効果的に検出範囲の幅を拡大、実施例の場合には±20mm(40mm)と2倍以上に拡大することができる。

【0021】このランドマーカ80について更に説明す

ると、ランドマーカ80は図7に示す様に、作業空間82において点検対象(実施例の場合は配管のフランジ部)84の前方の床面の適宜位置に黒色ペイントなど光を良く吸収する塗料で描いた直線からなる所定幅の面領域で構成する。この様に、ランドマーカ80を設けて作業空間82の床面を明度において属性の異なる2つの面領域に区分する。光センサ出力は、ランドマーカ80上にあるとき、および離床しているとき、オフとなる。

【0022】ここで、ロボット1は図3(および図1)に示す様に、筐体24の上部に点検システム90が設けられる。点検システム90は、水平方向(x-y平面)に回転自在なテーブル92(雲台)と、その上面から突設するポスト94に上下方向(x-z平面)に回転自在に取り付けられたカメラ96とからなる。テーブル92とカメラ96とは適宜な手段(図示せず)を介して駆動される。即ち、ロボット1は、点検対象付近まで歩行し、点検対象を撮像できる様にテーブル92とカメラ96とを移動し、画像認識処理を通じて異常の有無を確認する。尚、この発明の目的は位置の検知ないしは歩行制御にあるので、テーブルなどの駆動制御および画像処理による点検作業については図2で図示を省略すると共に、その説明を省略する。

【0023】上記の構成において、ロボット1が点検対象84に向かって歩行し、足平22R(L)がランドマーカ80上に着地することで、この作業空間内におけるランドマーカ80に対する相対的な現在位置を同定することができる。更に、光センサ38が左右の足平22R(L)に1対ずつ設けられていることから、対になっているセンサ出力を比較することで、ランドマーカ80に対する足平22R(L)の角度、即ち、脚部リンク2の角度を検出することができ、ランドマーカ80に対する相対的な方角を検知することができる。従って、それから環境地図情報およびカメラ96を通じて得られる視覚情報に基づいて確実に点検対象に接近してテーブル92上のカメラ96を駆動して点検作業を行うことができる。

【0024】ここで、前後の相対位置ずれ(偏差)は足平22R(L)の外側と内側のずれの平均とする。足平22R(L)の角度ずれは、図8に示す様に、足平の外側のセンサ検出部と内側のセンサ検出部で検出されたずれの差を足平の幅で除算して逆正接を求めて算出する。本実施例では角度ずれを得るために、センサを2列に配置したが、これを足平の両端に配置して間隔を可能な限り大きくして角度ずれ検出の分解能を向上させた。

【0025】この実施例は上記の様に検出したので、作業空間におけるランドマーカに対する相対的な位置および方角を容易に認識することができ、それから環境地図情報を利用するなどして点検対象に容易に到達することができる。しかも、構成として簡易であって、制御ユニット26を構成するマイクロコンピュータとして比較的

低レベルのもので足りる。

【0026】図9はこの発明の第2の実施例を示しており、ランドマーカ80を複数本設けた場合を示す。この場合は、検出したランドマーカ80のいずれかから、環境地図情報を基に、点検対象84に対する相対的な方角および位置を検知することができる。

【0027】上記の第1、第2実施例において、ランドマーカ80に対する足平22R(L)の角度は、一方の足平でも検出することはできるが、実施例では双方の足平にセンサアレイが装着されているので、ランドマーカ80付近で着地するとき、両脚を揃えて着地するのではなく、少しずらして着地すると、ランドマーカ80に着地する確率が高くなる。

【0028】即ち、上記第1、第2実施例において、ロボットがランドマーカ80付近に到達したとき、静止またはその直前における歩幅がランドマーカ80の進行方向長さの実質的に2倍ないしそれ以下の値となる様に、脚部を駆動制御するものとする。その結果、光センサアレイがランドマーカ80上に確実に位置することとなり、誤りなく検出することが可能となる。

【0029】従って、遠方から内界センサ（歩容パラメータの歩幅×歩数で求められる情報など）によるデッドレコニングで最終の点検位置まで移動でき、デッドレコニングの適用距離を拡大することができる。デッドレコニングの距離を延ばすことは、カメラ96などの外界センサを使う頻度を減少させるから、外界センサにありがちな情報処理の複雑さに起因する処理時間の増大を防止でき、一層移動速度が高まってより実用的になる。

【0030】図10はこの発明の第3の実施例を示す説明図であり、この第3実施例の場合には車輪式の移動ロボット100を用い、車体の両側に床面に近接して、光センサ38の検出部382をアレイ状に装着した（図10では片側のみ示す）。また同図および図11に示す様に、第3実施例の場合、ランドマーカ80は点検対象84の鉛直線上に位置する点Cを中心とする円弧からなる面領域で表現される。前記した第1、第2実施例の場合にはランドマーカ80が直線であったため、ロボットがランドマーカ80のどこに位置するのか検知することができず、点検システムのカメラ96を空間上のある仮想線に沿ってスキャンしなければならない不都合があったが、第3実施例の場合、ランドマーカ80が円弧であることから、図11に示す様に、両側のセンサアレイを結ぶ線の中点から垂線を延ばすことで円弧の中心C（点検対象）に対するロボットの絶対的な位置と方角とを一度に正しく認識することができる。尚、第3実施例でもランドマーカ80を複数本設けても良い。

【0031】第1から第3実施例のいずれの場合も、点検対象付近に到達した後に自己の位置を迅速に同定できるから、計算された点検対象の方向に点検システム90を正確に向けることができ、点検対象84を探索するの

にロボットの位置と向きとを試行錯誤的に変える必要がなく、自立ロボットの最重要関心事たるエネルギー消費を著しく低減することができる。

【0032】尚、第1から第3実施例において、ロボットがランドマーカ上に着地することを前提に説明したが、デッドレコニングの精度ミスで位置しない場合もあり得る。しかし、その様なケースは稀であり、万一生じたら、カメラ96を使用して自己の位置とランドマーカに対するズレを確認すれば良い。その場合でもランドマーカが特徴点として機能するから、環境の中の構造物からある特徴を抽出して自己位置を同定する従来手法より容易であり、コンピュータの負担も少ない。

【0033】図12はこの発明の第4実施例を示すフロー・チャートであり、この発明に係る移動制御装置の動作を示すフロー・チャートである。第4実施例は第1実施例で示した脚式移動ロボットが階段を昇降する場合の歩行制御に関する。図13に示す如く、階段の手前および各段にはランドマーカ80が敷設される。

【0034】尚、第4実施例は、本出願人が先に提案した出願（特願平4-241,351号）の改良である。改良点の1つは位置検出手段で、先に用いた接触式の分布荷重センサでは歩行時に大きな荷重や着地衝撃が足裏に作用するため、耐久性が悪化する不都合があったことから、光センサ38を使用したことにある。それについては、先に述べた。改良点の2つは、階段昇降時の位置検知の精度向上である。以下、説明するが、詳細は先に提案した出願に述べられているので、説明は簡単に止める。

【0035】この制御は前提として、ロボットと階段の相対位置の制御をしなくても数段の昇降が可能な場合、言い換えれば、ロボットと階段の相対位置に歩行可能な範囲が存在し、1段の昇降で発生する相対位置ずれが小さい場合を考える。現実的にはこの様な場合が多いと考えられるので、この制御では遊脚を目標位置に正確に着地させるための制御は行わず、任意の1段で相対位置ずれが発生することは許容するが、この相対位置ずれが累積することを防止する制御を行ない、ロボットと階段の相対位置を前記した歩行可能な範囲内に制御することによって、階段を連続的に昇降できる様にした。

【0036】図14は、この制御の詳細を示す制御ブロック図である。図で、 $S(z)$ は目標着地位置（目標値）、 $U(z)$ は歩幅指令値（操作量）、 $Y(z)$ は実着地位置（制御量）、 $E(z)$ は相対位置ずれ（制御偏差）、 $\Delta(z)$ は外乱、 $I(z)$ は積分要素、 $(1/z)$ は1サンプリング遅れ要素、 $K(z)$ は制御装置、 $G(z)$ はロボット（制御対象）の歩幅指令値から歩幅までのパルス伝達関数を表している。これらの関係は、数1、数2に示す様になる。

【0037】

【数1】

(7)

特許3330710

$$\begin{aligned}
 Y(z) &= \frac{G(z) \{1+z^{-1}I(z)K(z)\}}{1+z^{-1}I(z)K(z)G(z)} S(z) \\
 &+ \frac{1}{1+z^{-1}I(z)K(z)G(z)} \Delta(z) \\
 &= \frac{G(z) \{z-1+K(z)\}}{z-1+K(z)G(z)} S(z) \\
 &+ \frac{z-1}{z-1+K(z)G(z)} \Delta(z)
 \end{aligned}$$

【0038】

$$\begin{aligned}
 E(z) &= \frac{z \{1-G(z)\}}{z-1+K(z)G(z)} S(z) \\
 &- \frac{z}{z-1+K(z)G(z)} \Delta(z)
 \end{aligned}$$

【0039】仮に、簡略化のために、 $G(z)$ をゲイン $※$ 【0040】
 g 、制御装置 $K(z)$ をゲイン k とすれば、安定条件は $※$ 【数3】
 数3に示す様になる。

$$\text{安定条件} \quad |z| < 1$$

$$\left. \begin{aligned}
 1-kg < 1 &\rightarrow -kg < 0 \rightarrow kg > 0 \\
 -1 < 1-kg &\rightarrow -2 < -kg \rightarrow kg < 2
 \end{aligned} \right\} 0 < kg < 2$$

【0041】また、階段の長さが L (図15に示す) で $30 \star L$ に応じて一定値に収束する。
 一定ならば、目標位置はステップ状に変化するので、こ $※$ 【0042】
 れに対する定常偏差は、数4に示す様になり、 k, g, \star 【数4】

$$\begin{aligned}
 e^{\infty} &= \lim_{z \rightarrow 1} (1-z^{-1}) \cdot \frac{z}{z-1} L \cdot \frac{z(1-g)}{z-1+kg} \\
 &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z(1-g)}{z-1+kg} L \\
 &= \frac{1-g}{kg} L
 \end{aligned}$$

【0043】同様に、大きさ D のインパルス状の外乱お $※$ 束する。
 よびステップ状の外乱に対する定常偏差は数5、数6に $※$ 【0044】
 示す様になり、0または k, g, D に応じて一定値に収 $※$ 【数5】

$$\begin{aligned}
 e^{\infty} &= \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot z^{-e} \cdot D \cdot \frac{z}{z - 1 + kg} \\
 &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{(z - 1) \cdot z^{-e}}{z - 1 + kg} D \\
 &= \frac{0}{kg} D \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

【0045】

$$\begin{aligned}
 e^{\infty} &= \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \cdot \frac{Dz}{z - 1} \cdot \frac{z}{z - 1 + kg} \\
 &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z}{z - 1 + kg} D \\
 &= \frac{1}{kg} D
 \end{aligned}$$

【0046】ゲインkは外乱などによって発生した相対位置ずれが速やかに収束し、かつ、定常偏差が許容範囲内に収まる様に決定すれば良い。更に、制御装置K

(z)を積分要素を含む様に構成すれば、ステップ状目標値、ステップ状外乱に対する定常偏差を0にすることができる。

【0047】ここで、まずG(z)をゲインgとして同定した。図16はx(n)/u(n)をヒストグラムに表したものである。本来は、外乱の影響を含まないG

(z)、即ち、gを同定したいところであるが、w

(n)の検出が困難であるために、x(n)/u(n)から同定した。裾が広がっていることの要因は、外乱によるものが多いと推定されるので、G(z)をゲインとしても大きな問題にはならない。分布の中心が1.02であるので、g=1.02としても良いと思われるが、安全側に評価するため、g=1.06とした。制御装置K(z)をゲインkとする。このときの制御系が安定になるための条件は数3式より、0<k<1.89

(≡2/g)となる。数4式などよりkが大きい方が定常偏差は小さくなるが、制御系の特性が振動的になるのを回避し、ゲインに余裕を持たせるために、k=0.5

ないしは0.75とした。

【0048】また、比較のために、この制御を行わなかった場合の結果を図17に示す。図18および図19はこの制御を行った場合の結果であり、うち図18はk=0.5の場合、図19はk=0.75の場合である。どれも昇降した階段の長さは、280mmである。図17から明らかな様に、この制御を行わない場合は、ほぼ直線的に相対位置ずれが増加し、3から4段目で20mmを超えてしまう。これに対してこの制御を行った結果

は、図18および図19に示した様に相対位置ずれは発散せず、ほぼ一定値に収束していることが分かる。相対位置ずれはk=0.5の場合が10mm程度に、k=0.75の場合が7.5mm程度に収束している。g=1.02として数4式によれば、k=0.5のときには11mm、k=0.75のときには7mmとなるので、この制御の結果が理論的に見て妥当であることが分かる。

【0049】以上を前提として、図12フロー・チャートを参照してこの制御装置の動作を説明する。

【0050】まず、S10で装置各部をイニシャライズしてS12に進み、そこで歩容パラメータを前記したROM64からロードする。ここで、ロボットの歩容は力学的安定条件を考慮して予め設計され、歩容パラメータとしてROM64に記憶されているものとする。この歩容パラメータは遊脚目標着地位置などで表現される。続いてS14に進んでスタート信号を待機し、スタート信号が生じるとS16に進んでカウンタをインクリメントし、S18に進んで歩容修正タイミングか否か判断する。これについては後述する。

【0051】S18で否定されるとき、次いでS20に進んで姿勢パラメータを計算する。これは前記した歩容パラメータの中に補間演算を必要とするものがあるため、ここでそれを求め、S16のカウンタで指定される時刻の姿勢パラメータを計算する。続いてS22に進んでそれから12個の関節の角度を計算し、S24に進んで同期信号を待機し、同期が取れたところでS26に進んで算出した関節角度を出力し、S28に進んで歩行終了と判断されない限り、S16に戻って同様の作業を繰り返すと共に、終了と判断されるときはS30に進んで

カウンタをリセットして終わる。即ち、S16のカウンタの単位時間（例えば20ms）ごとにS16からS28をループする。またS26で出力された関節角度に基づき、その関節角度となる様に前記した第2の演算装置62においては図20に示すフロー・チャートに従ってサーボ制御が並行的に行われるが、この作業は公知であるので、説明は省略する。

【0052】ここまでの手順で、ロボットは予め設計された力学的に安定な歩容を再現し、歩行する。また、外乱に対抗して歩行の安定性を維持するための制御も同時に行われている。しかし、ここでは安定化制御についての説明は省略する。以上までに述べた従来手法で、ロボットは相対位置ずれが累積され、相対位置が歩行可能な範囲から外れるまでは階段を昇降することができる。この制御では、長さが280mmの一般的な階段を昇降した場合、前記した相対位置ずれの歩行可能な範囲は±60mm、また環境や外乱に左右されるが、平均的には、階段1段の昇降当たりに発生する相対位置ずれは5から10mm程度なので、10段前後まで連続して昇降できた。

【0053】ここで、図12フロー・チャートにおいてはS18で歩容修正タイミングであるか否か判断されるが、この制御においては脚が離床した時点歩容修正タイミングとした。相対位置ずれを検知するタイミングを離床のときとしたのは、離床以前に相対位置ずれを検知し、目標着地位置にフィードバックすれば遊脚軌道を遊脚期間全体を使って修正できるので、急激ではなく、滑らかな変更が可能となり、歩容の安定性の低下を最小限に抑えることができると共に、時間的に最新の相対位置ずれを制御に使用できるからである。

【0054】そしてS18で離床時と判断されるときはS32に進み、ロボットが階段を昇降しているときには1段ごとに、足平22R(L)に配置された光センサ38で階段のエッジを検出し、歩容パラメータ中に記載されているエッジの目標位置と比較して階段との相対位置ずれを検知する。続いてS34に進み、検出した相対位置および角度のずれに応じてそれが累積しない様に適当な目標歩幅修正量を決定し、続いてS36に進んで歩容パラメータ中に記載されている目標着地位置を書き換える。

【0055】目標着地位置が更新されると、ロボットの歩容は予め設計された歩容から、具体的には歩幅が変更される。例えば、任意の段での相対位置ずれが+20mmでゲインkが0.5とすると、図15から明らかな如く、次の1歩の歩幅は、280mm（階段の長さ）－（20mm×0.5）＝270mmとする。そして足平22R(L)の着地位置はx、y、z方向とそれらの軸まわりの回転で決定されるので、変更した歩幅となる様に、それらの全てまたは一部を修正する。以上の手順を階段昇降中に1歩ごとに繰り返せば、相対位置ずれの累

積を防止することができ、連続して何段でも昇降することができる。

【0056】この実施例は上記の様に構成したので、階段など着地位置に制約を受ける環境においても安定かつ高速に移動することができる。更に、図13に示した如く、階段の手前のエッジのない平坦な場所でも相対位置を検出することができるため、最初の一步から修正動作が可能となると共に、図21に示す様に、ロボットの足裏の荷重分布に偏りがあっても相対位置を検出することができる。また、光センサ38は非接触式なので、耐久性も向上する。

【0057】図22はこの発明の第5実施例を示す説明図である。この場合には、光センサ38の検出部382を足平22R(L)の前後端にアレイ状に配置すると共に、ランドマーカ80をロボット進行方向と平行になる様に設置した。これにより、同一の原理で左右方向の位置と角度を検出することができる。更に、当然の如く、センサ検出部を足平の前後、左右に配置すれば、ロボットの前後方向の位置、左右方向の位置、回転角度の全てを検出することができる。尚、その他の構成および効果は、先に示した内容と異ならない。

【0058】図23はこの発明の第6実施例を示す説明図である。この例の場合、階段の左右エッジ付近に位置するランドマーカ80の両端に切り欠き部80aを形成した。その結果、図24に示す様に、明度において属性の異なる3つの面領域が連続的に構成されてセンサ出力が切り欠き部80aで相違するので、足平22Rがそこに位置した、即ち、階段の左右エッジ付近に着地したことを検出することができ、安全な階段の中央位置付近に進路を変更することができる。

【0059】図25はこの発明の第7実施例を示す説明図であり、らせん階段を昇降するときの制御を示す。らせん階段が図26に示す如く、中心Csに対して同一の曲率を有する場合、その歩行コースは中心Csに対する距離が大きくなるにつれて増加する筈である。この実施例はその点に着目してなされた。

【0060】以下、図25フロー・チャートに沿って説明すると、S10からスタートしてS18まで進み、歩容修正タイミングと判断されてS32に進んでずれを検出する。ここまでは第4実施例と同様である。

【0061】第7実施例においては続いてS320に進み、目標歩幅Lo（図26に示す。前記歩幅Wnと同じ）と実際の歩幅とのずれΔLを所定値LTHと比較する。所定値LTHは、これを超えればらせん階段の計画歩行コースから外れた確率が高く、コース修正を必要とする判断基準である。図26において計画コース（破線）で予定される距離である。S320で、ずれΔLが所定値LTHを超えないと判断されるときはS322、S324に進み、必要に応じて修正量を決定して歩容パラメータを修正し歩幅を補正する。

【0062】S320で、ずれ ΔL が所定値LTHを超えた
と判断されるときはS326に進み、ずれ ΔL が同一
符号であることを確認してカウンタの値をインクリメン
トし、S328に進んでカウンタ値が2以上になったか
否か判断し、否定されるときはS322に進む。他方、
S328でカウンタ値が2以上になったと判断されるとき
は、例えば図26に示す様にコースが実際には計画の
ものから逸れていると推定できるので、S330におい
て歩容パラメータを修正してコースを補正する。続いて
S332に進んでカウンタ値をリセットし、S20以下

に進んで第4実施例と同様の処理を行う。尚、本実施例
においても第4実施例と同様、らせん階段の手前および
各段にランドマーカを敷設することは言うまでもない。
【0063】第7実施例は上記の如く構成したので、ら
せん階段を昇降するときも常に所期の軌跡に従って安定
して歩行することができる。

【0064】図27はこの発明の第8実施例を示す説明
図で、図12フロー・チャートのS34の修正量の決定
に際し、図14ブロック図に示したP制御則に代えて、
PID制御則を用いて目標値を修正する例を示す。残余
の構成は、先に示した内容ないし第4、第7実施例と異
ならない。

【0065】図28はこの発明の第9実施例を示す説明
図で、PID制御則に適応制御則を組み合わせた例を示
す。

【0066】図29はこの発明の第10実施例を示す説
明図で、ニューラルネットを用い、路面と足平の滑り、
経年変化、リンクの撓みなどをその学習機能によって感
知する。また、そのとき、階段の長さを吸収できる不感
帯を設ける。尚、図29において○印で示すニューロン
間の結合の強さは、BP則により更新される。

【0067】上記した第1ないし第10実施例において
は、平坦路面でもランドマーカを設置すれば相対位置の
検出が可能になるため、階段以外にも正確に自己位置を
検出する必要がある場所にも応用することができる。例
えば、図30に示す様に障害物を跨いで越えるとき（か
かる場合には前後方向の位置が重要となる）、図31に
示す様に狭い通路を通過するとき（左右方向の位置が重
要となる）、図32に示す様に角を曲がるとき（前後、
左右方向の位置、回転角度、共に重要となる）などであ
る。更に、枕木ないしはレールの上を歩行する場合、目
標地点ないし通過地点に定められた時刻に到着ないし通
過する場合など、制御したいパラメータが離散的であ
れば、位置であると角度であるとを問わず、広く適用す
ることができる。

【0068】図30は例えば移動経路の途中で進路を変
更すべき場合にも応用可能であり、その方向転換の場所
にランドマーカを描いておくだけで、安定かつ高速に移
動することができる。この手法で所望の移動経路を案内
すれば、経路全体にわたって誘導線を塗布する場合に比

べてペイントの塗布作業が著しく減少し、かつその従来
技術では知り得なかった方角まで正確に認識することが
できる。

【0069】上記第1ないし第10実施例において、移
動ロボットの例として脚式と車輪式の2種類を挙げた
が、両者の間には移動メカニズムにより次の様な差があ
る。車輪式のものにおいては、センサ自体が連続的に路
面を移動するので、デッドレコニングの精度が多少悪く
てもセンサアレイの最初のセンサの出力だけ注目してい
れば、出力信号が変わった時点をもって所望地点に到達
したことを推定し得る。この意味で本発明は車輪式の移
動ロボットに使用する方が、実用性は高い。

【0070】一方で脚式移動ロボットでは、原理的に着
地位置が離散的であり、ランドマーカを跨いでしまう恐
れがない訳ではない。しかし、ランドマーカの幅を広く
することと、ないしは前述の如く、その付近に接近した
とき歩幅を狭くするなど歩容の改善で対応することがで
きる。また、それとは別に、基本的な歩容においても遊
脚の軌道は可能な限り路面に近くなる様に設定するのが
望ましい。尚、脚式移動ロボットは第4、第7実施例に
示した様な階段歩行では圧倒的に優位にあるので、移動
経路に階段が含まれているときは、本発明は脚式移動ロ
ボットに使用するのが有用である。

【0071】尚、上記第1ないし第10実施例におい
て、脚式および車輪式の移動ロボットの例を示したが、
その他クローラ式のロボットにも妥当することは言うま
でもない。

【0072】

【発明の効果】請求項1項にあっては、区分手段に対す
る相対位置ないし角度を容易に検知することができ、よ
って移動空間における移動ロボット（作業ロボット）と
対象物との相対位置を容易に検知することができる。ま
た構成として簡易であるので、比較的低レベルのコンピ
ュータをもって実現することができる。

【0073】請求項2項にあっては、請求項1項と同様
に区分手段に対する相対位置ないし角度を容易に検知す
ることができ、よって移動空間における移動ロボット
（作業ロボット）と対象物との相対位置および相対角
度を容易に検知することができる。また比較的低レベ
ルのコンピュータをもって実現することができる。

【0074】請求項3項にあっては、区分手段に対する
絶対的な位置ないし角度を容易に検知することができ、
よって移動空間における移動ロボット（作業ロボット）
と対象物との相対位置および相対角度を位置をより容
易に検知することができる。また比較的低レベルのコン
ピュータをもって実現することができる。

【0075】請求項4項にあっては、作業対象に対する
相対的な方角を容易に検知することができる。

【0076】請求項5項にあっては、作業対象に対する
進行方向の位置、方角を容易に検知することができる。

【0077】請求項6項にあっては、移動空間における位置および角度を検知することができると共に、脚部先端の裏面で分布荷重が小さい領域についても検出できて検知精度を向上させることができる。更に、装置の耐久性を向上させることができる。

【0078】請求項7項にあっては、請求項6項と同様に、移動空間における位置および角度を検知することができると共に、足平の裏面で分布荷重が小さい領域についても検出できて検知精度を向上させることができる。更に、装置の耐久性を向上させることができる。

【0079】請求項8項にあっては、階段を昇降する手前のエッジのない平坦な位置でも位置および角度を検知することができ、階段昇降時の最初の一步から、修正動作が可能となる。また、階段の昇降以外にも、正確な位置ないしは角度を検知する必要がある場所を歩行する際にも応用することができる。

【0080】請求項9項にあっては、最も効果的に検知範囲を拡大することができる。

【0081】請求項10項にあっては、検出角度の分解能を向上させることができ、検出精度を向上させることができる。

【0082】請求項11項にあっては、耐久性を向上させることができる。

【0083】請求項12項にあっては、階段を安全に昇降することができる。

【0084】請求項13項にあっては、らせん階段を昇降するときも常に所期の軌跡に従って安定して歩行することができる。

【0085】請求項14項にあっては、ランドマーカの位置を確実に検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】移動ロボットの位置検知および制御装置を2足歩行の脚式移動ロボットを例にとって全体的に示す概略図である。

【図2】図1に示す制御ユニットの説明ブロック図である。

【図3】図1の脚式移動ロボットを位置検出手段（光センサ）の配置を中心に示す説明側面図である。

【図4】図3の脚式移動ロボットの足平への光センサの取り付け状態を示す説明図である。

【図5】図3の構成で環境側にランドマーカを設けない場合の光センサの検出範囲を示す説明図である。

【図6】図3の構成でランドマーカを設けた場合の光センサの検出範囲を示す説明図である。

【図7】この発明の第1実施例を示す、作業空間における点検対象付近とランドマーカを示す説明図である。

【図8】図3の構成でずれ（方角）を検出する例を示す説明図である。

【図9】この発明の第2実施例を示す、作業空間における点検対象付近とランドマーカを示す説明図である。

【図10】この発明の第3実施例で、移動ロボットとして車輪式を用い、またランドマーカとして円弧を用いると共に、その中心を点検対象の鉛直線上においた場合を示す説明図である。

【図11】第3実施例における円弧の中心（点検対象）の検出を示す説明図である。

【図12】この発明の第4実施例を示すフロー・チャートである。

【図13】第4実施例における移動空間（階段）およびランドマーカを示す説明図である。

【図14】図12フロー・チャートの制御のうちの着地位置補正制御を示すブロック図である。

【図15】図14で予定する階段の昇降動作を示す説明図である。

【図16】ロボットの階段昇降時の目標着地位置に対する実際着地位置のずれ特性を示すヒストグラムである。

【図17】図16に示す特性を持つロボットがこの制御を行わずに階段を昇降したときの目標着地位置と実際着地位置とのずれを示す実験データ図である。

【図18】図16に示す特性を持つロボットがこの制御を行って階段を昇降したときの目標着地位置と実際着地位置とのずれを示す実験データ図である。

【図19】図16に示す特性を持つロボットがこの制御を行って階段を昇降したときの目標着地位置と実際着地位置とのずれを示す別の実験データ図である。

【図20】図12フロー・チャートで決定され、出力される関節角度を目標値にサーボ制御する作業を示すフロー・チャートである。

【図21】図3の構成で分布荷重が小さい領域で検出できる状態を示す説明図である。

【図22】この発明の第5実施例を示す、階段にロボット進行方向に平行となる様に設けて左右方向の位置および角度を検出できる様に示す説明図である。

【図23】この発明の第6実施例を示す説明図である。

【図24】第6実施例での検出動作を示す説明図である。

【図25】この発明の第7実施例を示すフロー・チャートである。

【図26】第7実施例での検出動作を示す説明図である。

【図27】この発明の第8実施例を示す制御ブロック図である。

【図28】この発明の第9実施例を示す制御ブロック図である。

【図29】この発明の第10実施例を示す制御ブロック図である。

【図30】脚式移動ロボットが障害物を跨ぐ状態を示す説明図である。

【図31】脚式移動ロボットが狭い通路を通過する状態を示す説明図である。

23

【図32】脚式移動ロボットが角を曲がる状態を示す説明図である。

【図33】脚式移動ロボットが階段を昇る状態を示す説明図である。

【符号の説明】

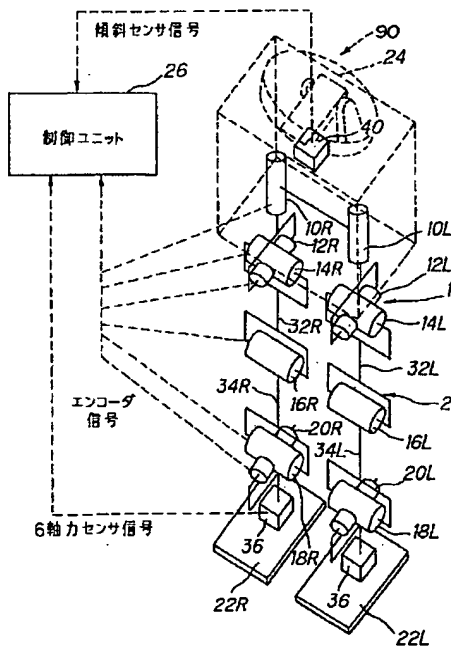
1 脚式移動ロボット（2足歩行ロボット）
 2 脚部リンク
 10R, 10L 脚部回旋用の関節
 12R, 12L 腰部のピッチ方向の関節
 14R, 14L 腰部のロール方向の関節

* 16R, 16L 膝部のロール方向の関節
 18R, 18L 足首部のロール方向の関節
 20R, 20L 足首部のピッチ方向の関節
 22R, 22L 足平（足部）
 24 筐体（基体）
 26 制御ユニット
 38 光センサ
 80 ランドマーカ
 82 作業空間
 10 84 点検対象
 * 90 点検システム

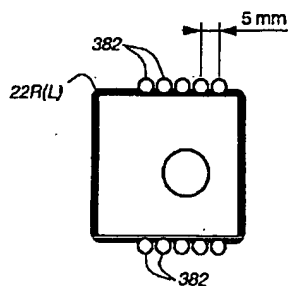
24

膝部のロール方向の関節
 足首部のロール方向の関節
 足首部のピッチ方向の関節
 足平（足部）
 筐体（基体）
 制御ユニット
 光センサ
 ランドマーカ
 作業空間
 点検対象
 点検システム

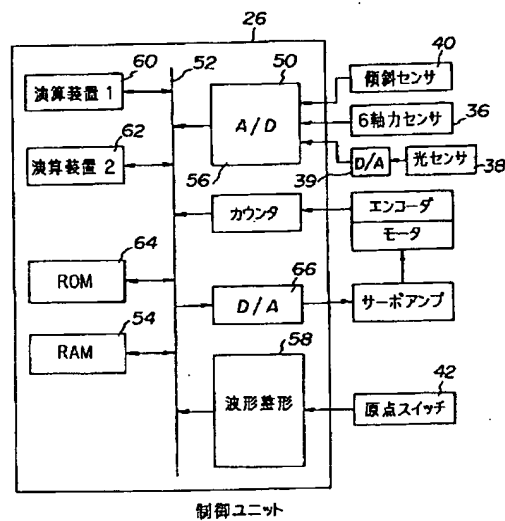
【図1】



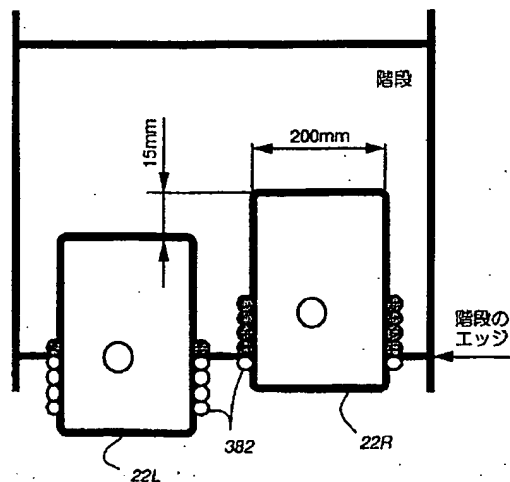
【図4】



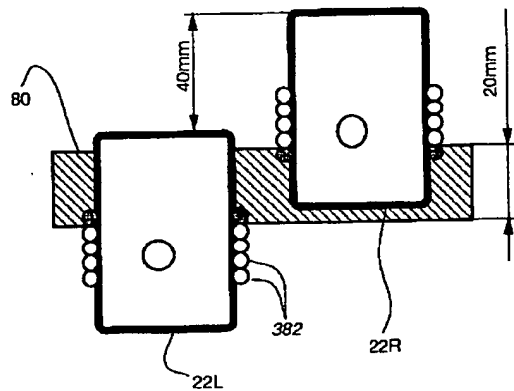
【図2】



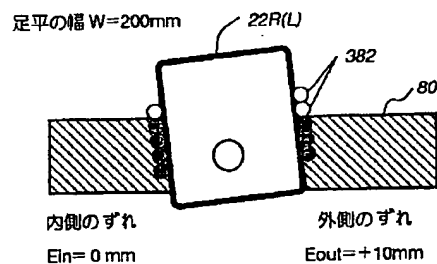
【図5】



【図6】



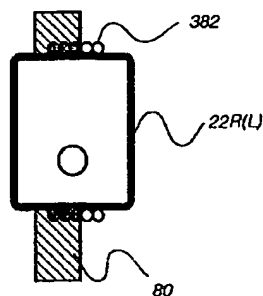
【図8】



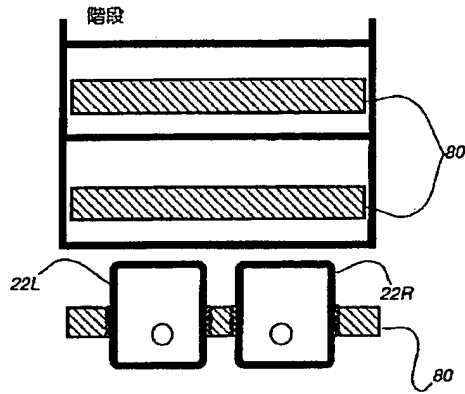
$$\text{角度ずれ } \theta_{\text{err}} = \tan^{-1}\{(E_{\text{out}} - E_{\text{in}})/W\}$$

$$= 2.86 \text{ [deg]}$$

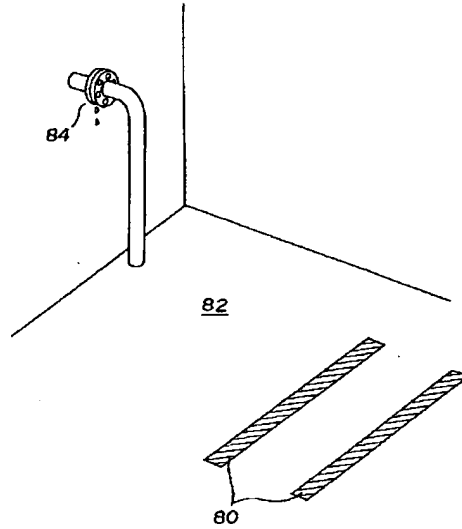
【图 2 2】



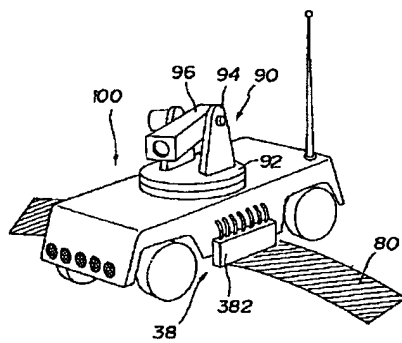
【図13】



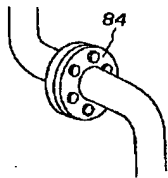
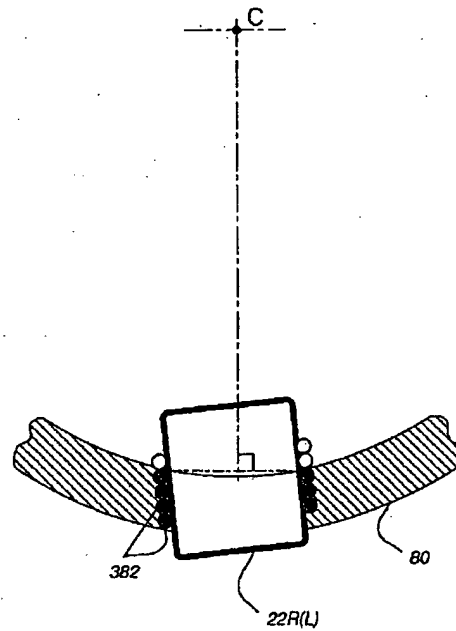
【図9】



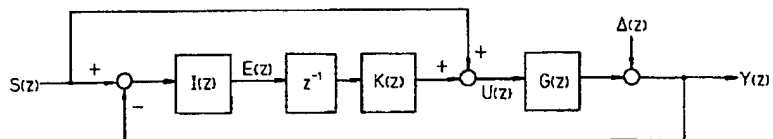
【図10】



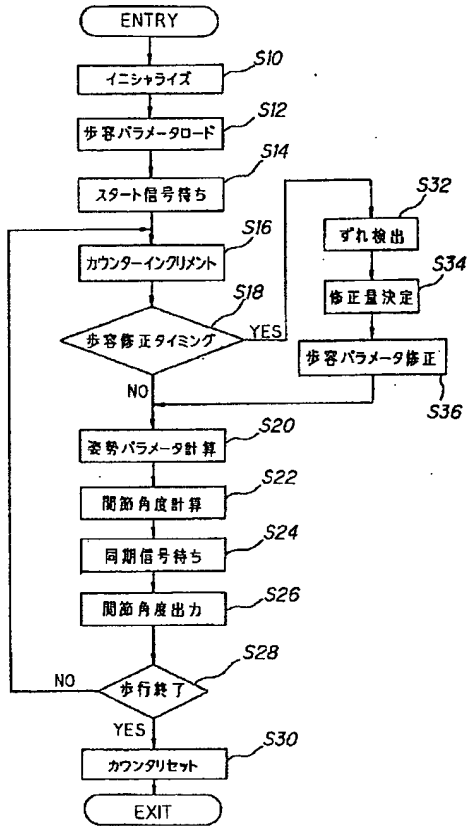
【図11】



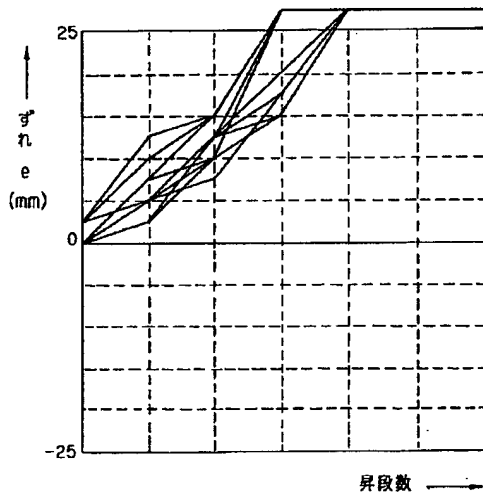
【図14】



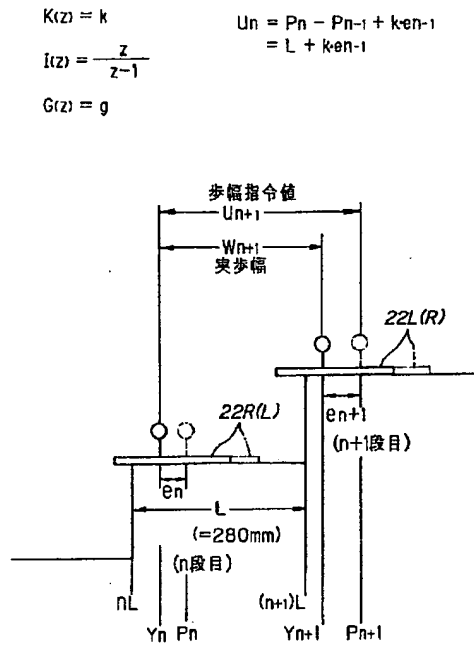
【図12】



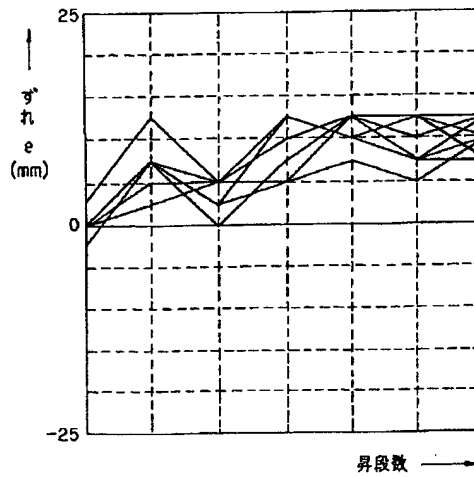
【図17】



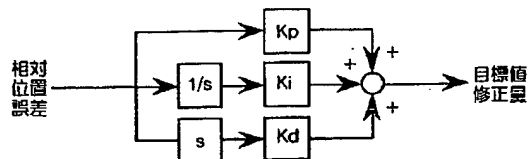
【図15】



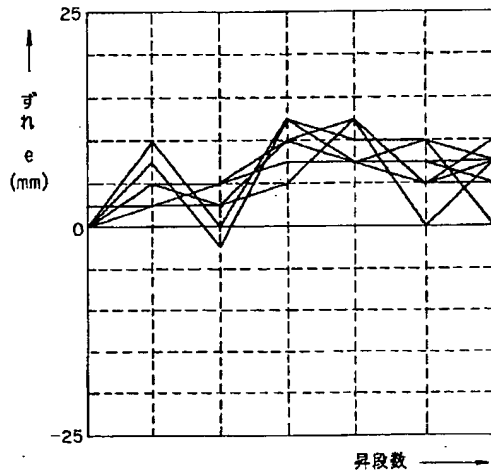
【図18】



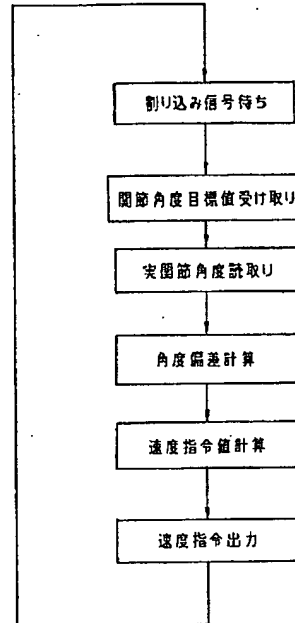
【図27】



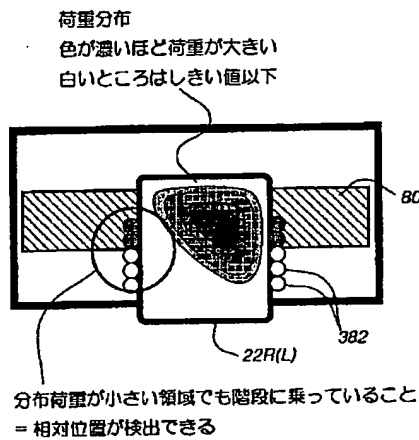
【図19】



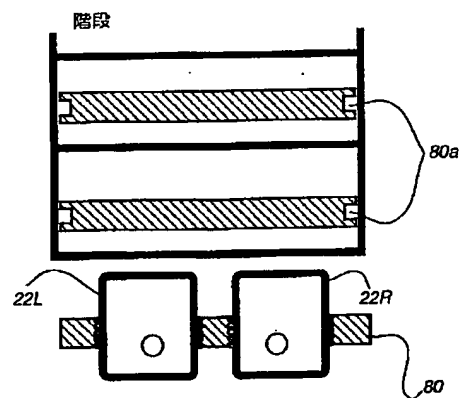
【図20】



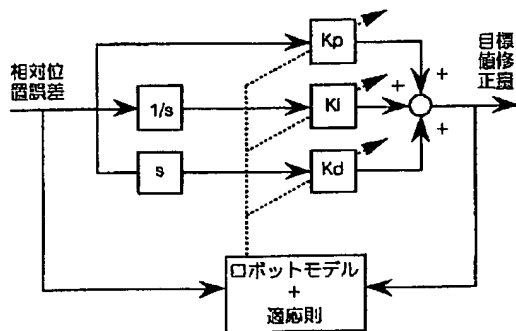
【図21】



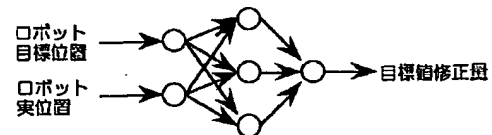
【図23】



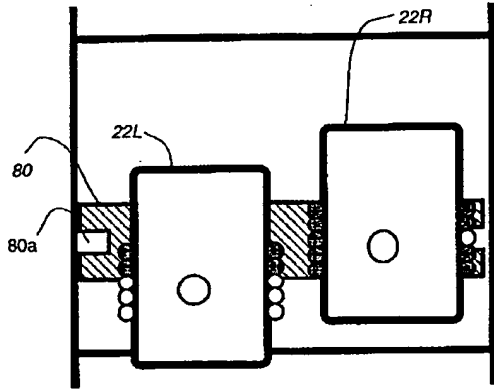
【図28】



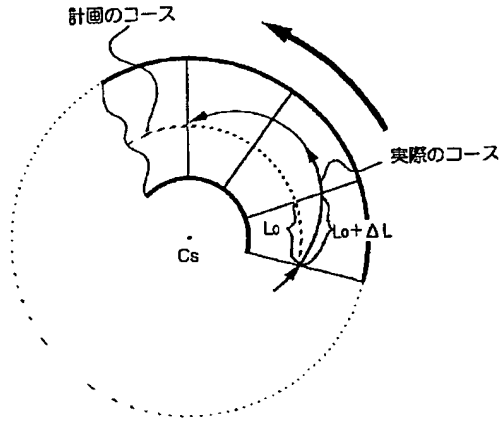
【図29】



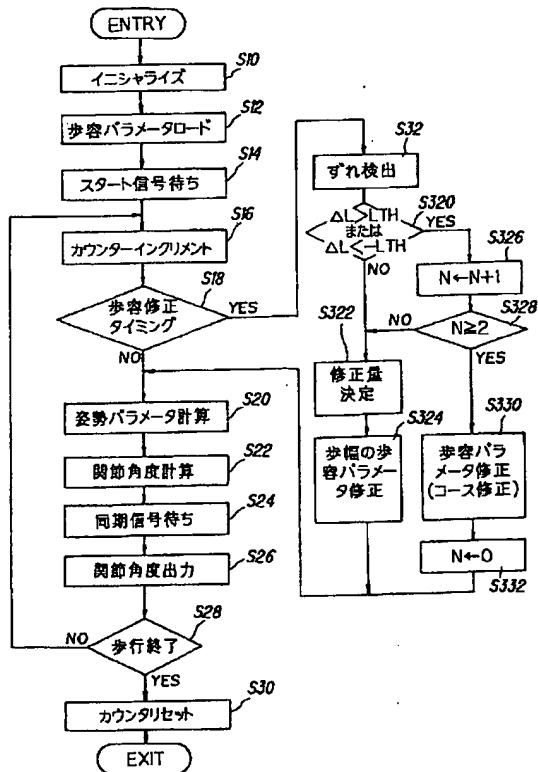
【図24】



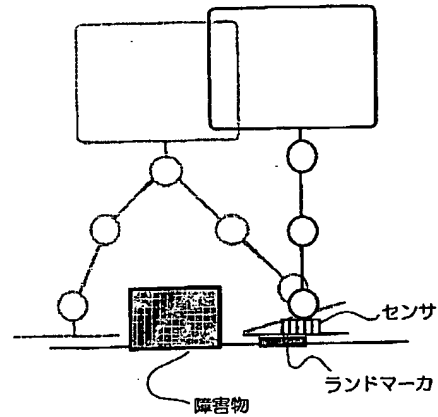
【図26】



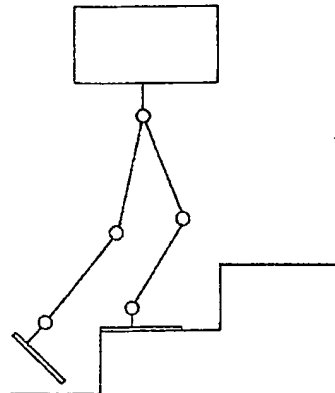
【図25】



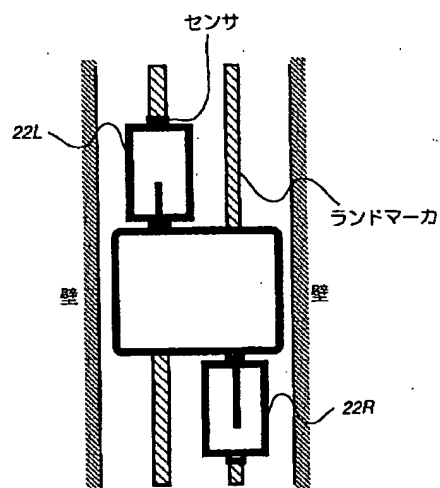
【図30】



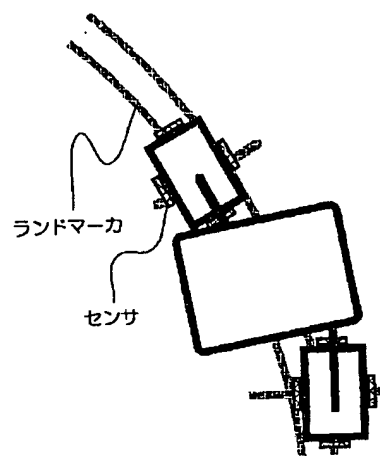
【図33】



【図31】



【図32】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 平4-100126 (J P, A)
 特開 平4-250990 (J P, A)
 特開 昭55-129808 (J P, A)
 特開 平5-318340 (J P, A)
 特開 昭63-186304 (J P, A)
 特開 平4-40508 (J P, A)
 実開 平5-93778 (J P, U)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, D B名)

B25J 19/02
 B25J 5/00
 G01B 11/00
 G05D 1/02